

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**DESAIN PENGENDALI *AUTO TUNING* MENGGUNAKAN *FUZZY*  
UNTUK PENGENDALIAN *WEB TENSION*  
PADA SISTEM *REWINDER ROLL***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

**JULIESTY HUSWINA NASUTION**

**11755202091**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU  
PEKANBARU**

**2021**

Hak Cipta Ulincaungi Unang-Uuang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**DESAIN PENGENDALI *AUTO TUNING* MENGGUNAKAN *FUZZY*  
UNTUK PENGENDALIAN *WEB TENSION*  
PADA SISTEM *REWINDER ROLL***

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**JULIESTY HUSWINA NASUTION**  
**11755202091**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 05 Juli 2021

**Ketua Program Studi**

**Teknik Elektro**

Digitally  
signed by  
Ewi  
Ismaredah  
Tanggal:  
2021.07.13  
09:07:33 WIB

**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom**  
**NIP. 19750922 200912 2 002**

**Pembimbing**

Digitally  
signed by  
Ahmad  
Faizal  
Tanggal:  
2021.07.0  
6  
06:49:43  
WIB

**Ahmad Faizal, S.T., M.T**  
**NIP. 19880630 201503 1 006**





# Hak Cipta Uilinaungi Unang-Unaang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PENGESAHAN

### DESAIN PENGENDALI *AUTO TUNING* MENGGUNAKAN *FUZZY* UNTUK PENGENDALIAN *WEB TENSION* PADA SISTEM *REWINDER ROLL*

#### TUGAS AKHIR

Oleh:

**JULIESTY HUSWINA NASUTION**

**11755202091**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 05 Juli 2021

Pekanbaru, 05 Juli 2021

Mengesahkan,

  
**Dekan**  
**Dr. Hartono, M.Pd**  
**NIP. 19640301 199203 1 003**

**Ketua Program Studi**  
**Teknik Elektro**  
  
signed by Ewi Ismaredah  
Tanggal:  
2021.07.13  
09:07:09 WIB  
**Ewi Ismaredah S.Kom., M.Kom**  
**NIP. 19750922 200912 2 002**

#### DEWAN PENGUJI :

**Ketua : Rika Susanti, S.T., M.Eng**

**Sekretaris : Ahmad Faizal, S.T., M.T**

**Anggota I : Aulia Ullah, S.T., M.Eng**

**Anggota II : Halim Mudia, S.T., M.T**

  
Digitally signed by Rika Susanti  
Tanggal: 2021.07.13 08:52:44 WIB  
  
Digitally signed by Ahmad Faizal  
Tanggal: 2021.07.06 06:51:02 WIB  
  
Digitally signed by Halim Mudia

## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan di perkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 05 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,

**JULIESTY HUSWINA NASUTION**  
**NIM. 11755202091**

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang**

*Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barangsiapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.*

*(HR. Tirmidzi)*

Terima Kasih Ya Allah...

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.

*Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.*

*(QS: Al-Mujadilah 11)*

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

*Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."*

*(QS: Al-Isra 80)*

/ Juliesty Huswina Nasution |  
| 05 Juli 2021 |



# DESAIN PENGENDALI *AUTO TUNING* MENGGUNAKAN *FUZZY* UNTUK PENGENDALIAN *WEB TENSION* PADA SISTEM *REWINDER ROLL*

**JULIESTY HUSWINA NASUTION**

**NIM : 11755202091**

Tanggal Sidang: 25 Juni 2021

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

## ABSTRAK

Kertas berkualitas bercirikan permukaan rata dan tidak keriput. Dalam produksi kertas kecacatan yang sering terjadi adalah keriput. Kecacatan tersebut disebabkan oleh dinamika *web tension* pada sistem *Rewinder Roll*. Agar *web tension* tetap stabil maka dibutuhkan suatu pengendali. Salah satunya pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy*. Tolak ukur keberhasilan pengendali tersebut adalah ketika mampu melakukan *tuning* otomatis secara berulang terhadap perubahan *set point*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa respon sistem mampu mencapai nilai *set point* dan dapat mengatasi *error steady state* sistem, dimana didapatkan nilai-nilai parameter yaitu  $E_{ss}=0$  N,  $t_r=0.3151$  detik,  $t_s=0.3750$  detik,  $t_d=0.0721$  detik,  $M_p=0.0044\%$ .

**Kata Kunci :** *Auto Tuning, PI Tuning, Rewinder Roll, Tension, Web*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# **AUTO TUNING CONTROL DESIGN USING FUZZY FOR WEB TENSION CONTROL ON THE ROLL REWINDER SYSTEM**

**JULIESTY HUSWINA NASUTION**

**Student Number : 11755202091**

Date of Final Exam : Juny 25<sup>th</sup>, 2020

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

## **ABSTRACT**

*Quality paper is characterized by a flat surface and no wrinkles. In paper production, the most common defects are wrinkles. The defect is caused by the dynamics of the web tension in the Rewinder Roll system. In order for the web tension to remain stable, a controller is needed. One of them is the Auto Tuning controller using Fuzzy. The measure of the success of the controller is when it is able to perform automatic tuning repeatedly for changes in set points. The results of this study indicate that the system response is able to reach the set point value and can overcome the steady state error of the system, where the parameter values obtained are  $E_{ss}=0N$ ,  $t_r=0.3751seconds$ ,  $t_s=0.3750seconds$ ,  $t_d=0.0721seconds$ ,  $M_p=0.0044\%$ .*

**Key Word** : PI Tuning, Auto Tuning, Rewinder Roll, Tension, Web

UIN SUSKA RIAU



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut dicontoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Desain Pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy* Untuk Pengendalian *Web Tension* Pada Sistem *Rewinder Roll*”.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada di sekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, Bapak, dan Abang tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Khairunnas, M.Ag selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Mulyono, S.T., M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
8. Ibu Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga semester 8 ini.
9. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Kakanda Syarifuddin Jakfar, S.T yang telah banyak meluangkan waktunya serta memberikan masukan kepada penulis sehingga laporan Tugas Akhir ini bisa selesai.
11. Rayhan Pratama Asri selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman angkatan 2017 yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 05 Juli 2021

Penulis,

Juliesty Huswina Nasution

NIM.11755202091

UIN SUSKA RIAU



## DAFTAR ISI

### Halaman

LEMBAR PERSETUJUAN .....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
LEMBAR PENGESAHAN .....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR RUMUS .....	xvi
DAFTAR LAMBANG .....	xvii
DAFTAR SINGKATAN .....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	I-1
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Rumusan Masalah .....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-4
1.4 Batasan Penelitian .....	I-5
1.5 Manfaat Penelitian .....	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	II-1
2.1 Penelitian Terkait .....	II-1
2.2 Landasan Teori .....	II-2
2.2.1. <i>Rewinder Roll</i> .....	II-2
2.2.2. <i>Web Tension</i> .....	II-4
2.2.3. <i>Pemodelan Dinamika Rewinder Roll</i> .....	II-4
2.3 Sistem Kendali .....	II-7
2.4 Pengendali Proporsional Integral (PI) .....	II-8

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.5	Logika <i>Fuzzy</i> .....	II-10
2.5.1.	Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	II-11
2.5.2.	Fungsi Keanggotaan ( <i>Membership Function</i> ) .....	II-12
2.5.3.	Tahapan Logika <i>Fuzzy</i> .....	II-14
2.6	Model <i>Fuzzy</i> Mamdani .....	II-18
2.7	<i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> .....	II-18
2.8	Identifikasi Respon Transien .....	II-19
2.9	Interpolasi Linear .....	II-20
2.10	MATLAB .....	II-22
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>III-1</b>
3.1	Alur Penelitian.....	III-1
3.2	Tahapan Penelitian .....	III-2
3.3.	Pemodelan Matematis <i>Rewinder Roll</i> .....	III-3
3.4.	Verifikasi Pemodelan Matematis .....	III-4
3.5.	Skenario Penelitian.....	III-5
3.6.	Perancangan Pengendali .....	III-5
3.6.1.	Perancangan Pengendali <i>PI-Tuning</i> .....	III-5
3.6.2.	Perancangan Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> .....	III-7
3.6.3.	Perancangan Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> dengan Perubahan <i>Set Point</i> .....	III-10
3.7	Data Penelitian Yang Akan Dianalisa .....	III-11
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA .....</b>		<b>IV-Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
4.1	Gambaran Umum Pengujian .....	<b>IV-Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
4.2.	Hasil dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> secara <i>Close Loop</i> .....	<b>IV-Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
4.3.	Hasil dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> Dengan Pengendali <i>PI-Tuning</i> .....	<b>IV-Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
4.4.	Hasil dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> Pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> dengan Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> ....	<b>IV-Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- 4.5 Hasil dan Analisa Simulasi *Web Tension* Pada Sistem *Rewinder Roll* dengan Pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan *Set Point 1N* IV-**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.6 Hasil dan Analisa Simulasi *Web Tension* Pada Sistem *Rewinder Roll* dengan Pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan *Set Point 1.5N* .....IV-**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.7 Analisa Perbandingan Respon Sistem Secara *Close Loop*, Pengendali *PI-Tuning* dan Pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* untuk Pengendalian *Web Tension* pada Sistem *Rewinder Roll* IV-**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>V-1</b>
5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran .....	V-1

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 <i>Rewinder Roll</i> .....	II-3
Gambar 2. 2 Kertas cacat ( <i>wrinkle</i> ) .....	II-3
Gambar 2. 3 Diagram Blok <i>Rewinder Roll</i> .....	II-7
Gambar 2. 4 Diagram Blok Pengendali PI .....	II-9
Gambar 2. 5 Istilah-Istilah dalam Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	II-12
Gambar 2. 6 Representasi Linear Naik.....	II-13
Gambar 2. 7 Representasi Linear Turun.....	II-13
Gambar 2. 8 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga .....	II-14
Gambar 2. 9 Representasi Trapesium.....	II-14
Gambar 2. 10 Diagram Alur Dari Sistem Logika <i>Fuzzy</i> . ....	II-15
Gambar 2. 11 Respon Grafik Pada Bidang Fase .....	II-16
Gambar 2. 12 Diagram Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> .....	II-19
Gambar 2. 13 Spesifikasi Respon <i>Transien</i> .....	II-20
Gambar 2. 14 Kurva Interpolasi Linear.....	II-21
Gambar 2. 15 Simbol Matlab 2014a.....	II-22
Gambar 2. 16 Tampilan Model Simulink pada Matlab .....	II-23
Gambar 2. 17 Kotak Dialog <i>Simulink Library</i> .....	II-23
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	III-1
Gambar 3. 2 Rangkaian <i>Simulink Close Loop</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> .....	III-4
Gambar 3. 3 Subsistem Blok <i>Rewinder Roll</i> .....	III-4
Gambar 3. 4 Respon Sistem secara <i>Close Loop</i> pada <i>Rewinder Roll</i> .....	III-4
Gambar 3. 5 Rangkaian <i>Simulink PI-Tuning</i> .....	III-5
Gambar 3. 6 Tampilan blok <i>PI Controller</i> .....	III-6
Gambar 3. 7 Tampilan Grafik <i>PI-Tuning</i> .....	III-6
Gambar 3. 8 Rangkaian <i>Simulink</i> Penentuan <i>Error</i> dan <i>Delta Error</i> .....	III-7
Gambar 3. 9 Variabel <i>Input "Error"</i> Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	III-8
Gambar 3. 10 Variabel <i>Input "Delta Error"</i> Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	III-8
Gambar 3. 11 Variabel <i>Output 1 "Kp"</i> Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	III-8

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Gambar 3. 12 Variabel <i>Output 2 “Ki” Himpunan Fuzzy</i> .....	III-9
Gambar 3. 13 Rangkaian <i>Simulink</i> Sistem Pengendali <i>Auto Tuning</i> Menggunakan <i>Fuzzy</i> ....	III-10
Gambar 3. 14 Rangkaian <i>Simulink</i> Sistem Pengendali <i>Auto Tuning</i> Menggunakan <i>Fuzzy</i> dengan Gangguan Sinyal Kendali.....	III-11
Gambar 4. 1 Respon Simulasi Sistem Secara <i>Close Loop</i> IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>	
Gambar 4. 2 Hasil Respon Pengendali <i>PI-Tuning</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> .....	IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Gambar 4. 3 Hasil Respon Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> .....	IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Gambar 4. 4 Hasil Respon Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> dengan Perubahan <i>Set Point 1N</i> IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>	
Gambar 4. 5 Hasil Respon Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> dengan Perubahan <i>Set Point 1.5N</i> IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>	



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Nilai Derajat Keanggotaan Himpunan X.....	II-12
Tabel 2. 2 Basis aturan <i>Fuzzy</i> dengan tiga nilai linguistik (N, Z, P) .....	II-16
Tabel 2. 3 Rangkuman kriteria metode <i>defuzzifikasi</i> yang sering digunakan .....	II-17
Tabel 3. 1 Parameter Pemodelan <i>Rewinder Roll</i> .....	III-3
Tabel 3. 2 <i>Rule Base Fuzzy</i> .....	III-9
Tabel 4. 1 Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Set point</i> Secara <i>Close Loop</i> IV-	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 2 Data <i>Delay Time</i> Secara <i>Close Loop</i> IV-	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 3 Respon Waktu <i>Web Tension</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> Secara <i>Close Loop</i> ..IV-	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 4 Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Set point</i> dengan Pengendali <i>PI-Tuning</i> . IV-	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 5 Data <i>Rise Time</i> 95% dari <i>Set point</i> dengan Pengendali <i>PI-Tuning</i> IV-	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 6 Data <i>Settling Time</i> 98% dari <i>Set point</i> dengan Pengendali <i>PI-Tuning</i> .....	IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 7 Data <i>Delay Time</i> dengan Pengendali <i>PI-Tuning</i> IV-	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 8 Respon Waktu <i>Web Tension</i> pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> dengan Pengendali <i>PI-Tuning</i> .....	IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 9 Penalaan Nilai <i>Kp</i> dan <i>Ki</i> untuk Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> .....	IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 10 Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Set point</i> dengan Pengendali <i>Auto Tuning Menggunakan Fuzzy</i> .....	IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 4. 11	Data Rise Time 95% dari Set point dengan Pengendali Auto Tuning Menggunakan Fuzzy ..... IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 12	Data Settling Time 98% dari Set point dengan Pengendali Auto Tuning Menggunakan Fuzzy ..... IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 13	Data Delay Time dengan Auto Tuning Menggunakan Fuzzy ..... IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 14	Respon Waktu Web Tension pada Sistem Rewinder Roll dengan Pengendali Auto Tuning Menggunakan Fuzzy ..... IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
Tabel 4. 15	Perbandingan Respon Sistem Secara Close Loop, Pengendali PI-Tuning dan Auto Tuning Menggunakan Fuzzy IV- <b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>

## DAFTAR RUMUS

- 2.1 Resivitasi Kepadatan Kertas
- 2.2 Pemodelan Dinamika Kertas
- 2.3 Hukum Elastisitas Ketegangan *Plant*
- 2.4 *Strain*/Regangan dan Kontinuitas Massa
- 2.5 Persamaan Laplace untuk Dinamika Torsi di Daerah *Rewinder Roll*
- 2.6 Fungsi Transfer *Output/Input*
- 2.7 Hukum Newton Kedua Persamaan *Winder*
- 2.10 Hubungan antara Kecepatan Sudut Putar dan Percepatan Sudut Putar
- 2.12 Persamaan Laplace torsi yang dihasilkan motor
- 2.13 Transfer *Function* dari Torsi Motor sampai *Tension* Kertas dalam Domain-s
- 2.18 Persamaan *Error Steady State*
- 2.19 Persamaan Garis Lurus Melalui 2 Titik
- 2.20 Persamaan Interpolasi Linear
- 3.1 Transfer *Function* Orde Dua
- 3.4 Transfer *Function Rewinder Roll*

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### DAFTAR LAMBANG

$\rho$	= Resivitasi
A	= Luas permukaan pada lembaran kertas
L	= Panjang kertas
V	= Kecepatan
$\sigma$	= Tegangan pada <i>web tension</i>
$\varepsilon$	= Regangan pada <i>web tendon</i>
L	= Panjang antara <i>lead roll</i> dan <i>Rewinder Roll</i>
A	= Luas melintang kertas
E	= Modulus Elastisitas <i>Young</i> pada kertas
V	= Kecepatan pada <i>Rewinder Roll</i>
V <sub>1</sub>	= Kecepatan pada <i>lead roll</i>
C	= Modulus redaman kertas
D	= Diameter <i>Rewinder Roll</i>
GR	= <i>Gear Ratio</i>
J	= Total Inersia pada motor
B	= Koefisien gesek pada motor penggerak
$\omega$	= Kecepatan Rotasi



### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

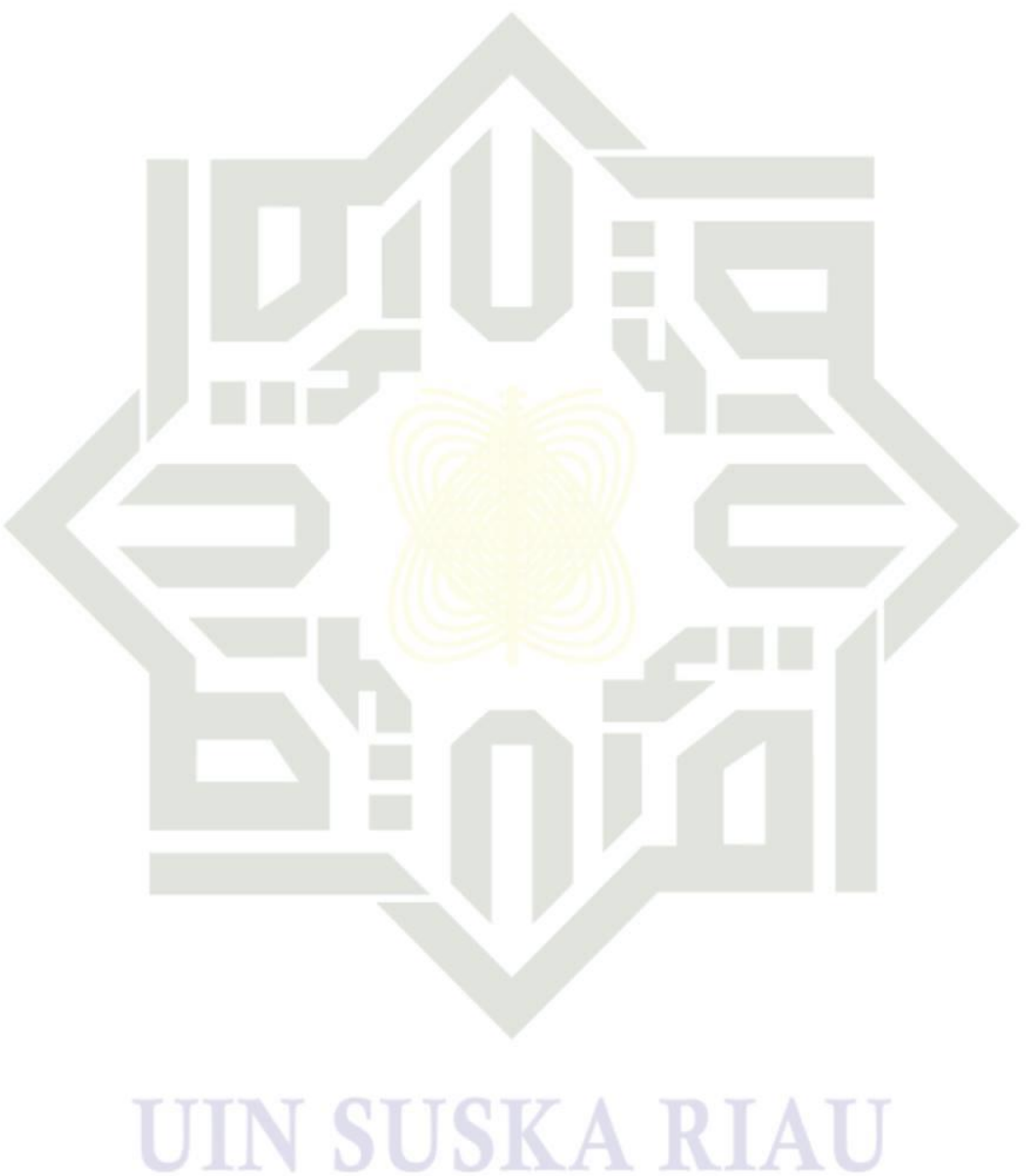
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

= Percepatan Rotasi  
= Torsi

## DAFTAR SINGKATAN

MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i>
PI	= <i>Proportional Integral</i>
CM	= <i>Composite Moment</i>
MOM	= <i>Method Of Maximum</i>
LOM	= <i>Method Largest Of Maximum</i>
SOM	= <i>Method Smallest Of Maximum</i>

UIN SUSKA RIAU

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kehidupan manusia tidak bisa dipisahkan dari kertas [1]. Kemajuan media *online* tidak menghambat pertumbuhan industri pulp dan kertas di Indonesia [2]. Industri kertas adalah salah satu industri yang cukup menjanjikan di Indonesia, selain kebutuhan masyarakat yang tinggi, daya saing produsen kertas di Indonesia cukup tinggi [3]. Pada tahun 2018, Kementerian Perindustrian Indonesia memperkirakan sebesar 2,1%, industri pulp dan kertas di Indonesia akan berkembang seiring dengan peningkatan permintaan di pasar Internasional [4].

Pencapaian hasil produk pulp dan kertas masing-masing mencapai 4,55 juta ton dan 7,98 juta ton kertas [2]. Dari pencapaian hasil produk tersebut Indonesia berada di urutan ke-9 sebagai produsen pulp dan ke-6 sebagai produsen kertas terbesar di dunia. Sedangkan dalam hal ekspor, Indonesia sanggup mengeksport pulp seharga 1,85 miliar dolar AS sebanyak 3,75 juta ton dan mengeksport kertas seharga 3,76 miliar dolar AS sebanyak 4,26 juta ton. Uni Eropa, Amerika Serikat, dan Tiongkok merupakan beberapa negara yang menjadi tujuan ekspor pulp dan kertas tersebut.

Pada penggunaannya, kertas memiliki peran dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi [1], seperti dalam bidang pendidikan, peran kertas menjadi sangat penting, yaitu sebagai sarana dalam proses belajar mengajar hingga dalam urusan administrasi seperti penerbitan ijazah. Peran kertas juga digunakan dalam bidang ekonomi, yakni kertas digunakan sebagai bahan dasar percetakan uang. Di bidang informasi dan komunikasi, kertas juga dimanfaatkan sebagai bahan percetakan majalah dan koran. Begitu juga dalam bidang politik, kertas digunakan sebagai bahan pembuatan surat suara dalam pemilihan umum. Sedangkan di bidang hukum, kertas dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan materai guna menentukan sah atau tidaknya sebuah dokumen. Selain itu, dalam bidang industri, kertas digunakan sebagai bahan pengemasan, seperti kertas karton yang dibentuk menjadi kotak untuk tempat peletakan produk. Pada penelitian ini, penulis tidak mencantumkan jenis kertas yang diteliti berdasarkan besar tegangan kertasnya, hal tersebut dikarenakan penulis hanya mengkaji besar tegangan kertas yang digunakan berdasarkan studi literatur dan penelitian yang sudah pernah dilakukan.

Agar industri pulp dan kertas terus maju dan berkembang, diperlukan adanya produk yang berkualitas karena, dalam dunia industri kualitas produk sangat diutamakan [5]. Oleh



itu, pengendalian kualitas produk dalam proses industri perlu dilakukan guna mendeteksi kesalahan secara cepat, sehingga bisa dilakukan tindakan antisipasinya [6]. Kualitas produksi yang diharapkan yaitu permukaan kertas yang rata dan tidak adanya *wrinkle* (keriput). Tetapi dari hasil studi literatur, kecacatan yang sering terjadi dalam produksi kertas adalah ketidak-rataan permukaan kertas atau keriput [5][7]. Kecacatan dalam produksi tersebut disebabkan oleh dinamika pada *web tension* saat pengendalian ketegangan kertas [8].

*Web tension* terdiri dari kata *web* yang artinya bahan yang ada pada suatu proses pembuatan dengan cara ditarik secara terus-menerus dari gulungan, sedangkan *tension* merupakan kekuatan ketegangan terukur yang merentangkan *web* [8]. Bahan yang digunakan di sini adalah kertas, dimana kertas tersebut sudah melewati proses *di-dryer* memiliki variasi pelapisan dan ketebalan pencetakan [9]. Jadi, *web tension* merupakan suatu pengontrolan ketegangan kertas guna membuat permukaan kertas menjadi rata dan kepadatan gulungan kertas yang bagus. Pengontrolan ketegangan *web* yang tepat akan menghasilkan produk yang berkualitas dan cacat produk ketika proses produksi akan berkurang [8], dan kontrol ketegangan yang tepat akan membuat proses dapat berjalan pada kecepatan tinggi serta kualitas produk yang dihasilkan juga terjamin.

Untuk menghasilkan kualitas ketegangan kertas yang stabil, suatu pengendali sangat dibutuhkan guna menjaga kestabilan pengaturan ketegangan kertas [10]. Terdapat sejumlah penelitian telah dilakukan, seperti pengendalian *web tension* menggunakan *adaptive force control*, pada penelitian ini digunakan pengendali *Neural Fuzzy Approximator* untuk *gain scheduling* pada sistem kendali *web handling*. Hasil penelitian tersebut yaitu pengendali yang digunakan mampu membuat sistem mencapai nilai *steady state* ketika diberikan *set point gain scheduling* sebesar 0,1 dan 0,2 dengan waktu sekitar 6 detik. [11].

Selain pengendali *adaptive force control*, penelitian pengendalian *web tension* juga dilakukan menggunakan kendali optimal LQR, dimana hasil penelitiannya yaitu respon pada sistem kendali optimal LQR ini terdapat *error steady state* sebesar 0.0025N dan *overshoot* sebesar 0.05% Pengendali LQR yang digunakan untuk pengendalian *web tension* pada *Rewinder Roll* ini juga mampu mengatasi perubahan *set point* secara optimal [12].

Penelitian lain juga dilakukan menggunakan pengendali Robust PID, dimana penelitian ini membandingkan kendali PID konvensional dengan kendali Robust PID. Hasil penelitian menyatakan kendali Robust PID mampu bekerja lebih baik dibandingkan kendali

PID konvensional dan sistem ini tidak menimbulkan osilasi. Namun, kendali Robust PID masih menghasilkan *overshoot* sebesar 1.744% dan lama mencapai *set poin* [13].

Selain penelitian terkait *web tension* dengan pengendali yang berbeda, terdapat penelitian lain yang berkaitan dengan pengendali yang akan peneliti angkat, seperti penelitian tentang perancangan pengendali *self-tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* untuk pengendalian motor servo pada sistem *tracking* bola, dimana pengendali tersebut dibandingkan dengan pengendali PI, hasil penelitiannya yaitu pengendali *self-tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* untuk *servo tilt* memiliki *overshoot* 22% dan 22,7% dihasilkan oleh pengendali PI, kemudian untuk *servo pan* pengendali *self-tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* menghasilkan *overshoot* 10,8%, sedangkan pengendali PI menghasilkan *overshoot* 19,8% [14].

Penelitian lain yaitu perancangan kendali *self tuning fuzzy-PI* untuk mengendalikan kecepatan sepeda listrik, penelitian ini membandingkan antara performansi sistem dengan beban dan tanpa beban. Dari performansi dengan beban, menghasilkan waktu tunak (*settling time*) 4.9 detik, *overshoot* 0%, dan *error steady-state* 0. Untuk performansi tanpa beban, menghasilkan waktu tunak (*settling time*) 6.9 detik, *overshoot* 9.3%, dan *error steady-state* 0 [15].

Dari kajian literatur dan hasil simulasi secara *Close Loop*, sistem *web tension* belum mencapai *set point* yang diharapkan. Studi pustaka mengenai beberapa pengendali belum menunjukkan hasil yang bagus, karena masih terdapat *error steady state* dan respon sistem yang lambat. Sistem dikatakan stabil apabila respon terhadap suatu masukan tidak menghasilkan osilasi dan *error steady state* [16].

Salah satu sistem kendali cerdas yang banyak digunakan saat ini adalah kendali Logika *Fuzzy* yaitu sistem kendali yang mengadaptasi cara manusia dalam mengambil keputusan berdasarkan suatu pengetahuan fenomena-fenomena pada proses untuk menentukan suatu aksi kontrol yang sesuai dengan suatu hubungan jika-maka (*if-then rules*) [17]. Sistem kendali logika *fuzzy* ini dapat mengatasi masalah dinamika terhadap perkiraan pemetaan hubungan *input* dan output berdasarkan data yang kurang atau tidak pasti. Selain itu pengendali *fuzzy* cukup baik dalam memperbaiki respon transien pada sistem, tetapi kendali *fuzzy* masih memiliki kekurangan dimana sangat sensitif terhadap gangguan [18]. Jika dikaitkan dengan sistem *rewinder roll* yang memiliki *set point* berubah-ubah dan juga adanya gangguan yang disebabkan oleh faktor-faktor tertentu, maka pengendali *fuzzy* ini cocok dipasang pada sistem *rewinder roll* ini.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pengendali PI (*Proportional dan Integral*) sangat banyak digunakan hampir sekitar 80% di perusahaan industri. Hal tersebut dikarenakan pengendali PI ini mampu menghasilkan respon sistem yang bagus dan mengatasi *error steady state* dan respon sistem lainnya [19]. Dan pengendali PI ini dipilih karena setelah dilakukan simulasi secara *Close Loop*, didapatkan performansi sistem menggunakan pengendali PI lebih bagus daripada menggunakan pengendali PID.

Pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* adalah pengendali yang memiliki 2 parameter PI yaitu Kp dan Ki yang di *tuning* menggunakan logika *fuzzy*. Dari segi struktur, terdapat dua *input* untuk logika *fuzzy* yaitu *error* dan *delta error*, kemudian terdapat dua *output* dari setiap parameter kendali PI yaitu Kp dan Ki [19]. Pengendali ini menggunakan dua kali *tuning*, pertama *PI Tuning* dan *Tuning* nilai Kp dan Ki.

Berdasarkan penjabaran di atas, maka peneliti ingin melakukan penelitian terhadap pengendalian *web tension* dengan pengendali ***Auto Tuning Menggunakan Fuzzy*** untuk menguji apakah pengendali tersebut dapat melakukan *tuning* otomatis terhadap dinamika *web tension* dan menghilangkan *error steady state* dari simulasi *Close Loop*.

## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana performansi sistem *Rewinder Roll* saat menggunakan pengendali *PI-Tuning*?
2. Bagaimana performansi sistem *Rewinder Roll* setelah ditambahkan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy*?
3. Bagaimana performansi sistem *Rewinder Roll* yang ditambahkan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan perubahan *set point*?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendesain pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy*.
2. Mengetahui hasil performansi sistem *Rewinder Roll* setelah ditambahkan pengendali *PI Tuning* dan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy*.
3. Membuat sistem *Rewinder Roll* yang ditambahkan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dapat mengikuti perubahan *set point* yang dilakukan?



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

### 1.4. Batasan Penelitian

Agar pembahasan tidak melebar, peneliti memberi batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Asumsi-asumsi pemodelan sistem *Rewinder Roll* yang digunakan merujuk ke penelitian sebelumnya [13].
2. *Set point* yang digunakan pada penelitian ini merujuk pada referensi terkait pengendalian *web tension*.
3. Penentuan lebar *output* fungsi keanggotaan *Fuzzy* menggunakan parameter  $K_p$  dan  $K_i$  dari hasil *PI Tuning*.
4. Metode *Fuzzy* yang digunakan yaitu metode *Fuzzy Mamdani*.
5. Simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB R2014a.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penulis berharap penelitian yang dilakukan ini dapat memberikan manfaat di antaranya yaitu:

1. Menghasilkan sebuah rancangan sistem kendali yang menggunakan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* untuk pengendalian *web tension* pada sistem *Rewinder Roll*.
2. Dapat dijadikan referensi dalam mengaplikasikan sistem kendali di industri, serta dapat memberikan kemudahan dalam penyelesaian permasalahan umum yang terjadi pada proses pengendalian *web tension* pada sistem *Rewinder Roll*.
3. Dapat dijadikan rujukan untuk penelitian berikutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terkait

Pada penelitian Tugas Akhir ini, penulis melakukan kajian literatur mulai dari teori hingga referensi yang sesuai dengan permasalahan baik dari segi *plant* maupun pengendali yang digunakan, di antaranya yaitu pengendalian *web tension* menggunakan *adaptive force control*, pada penelitian ini digunakan pengendali *Neural Fuzzy Approximator* untuk *gain scheduling* pada sistem kendali *web handling* [11]. Hasil penelitian tersebut yaitu pengendali yang digunakan mampu membuat sistem mencapai nilai *steady state* ketika diberikan *set point* *gain scheduling* sebesar 0,1 dan 0,2 dengan waktu sekitar 6 detik. Penelitian ini sama halnya yaitu membahas tentang pengendalian ketegangan suatu *web*.

Selain pengendali *adaptive force control*, penelitian pengendalian *web tension* juga dilakukan menggunakan kendali optimal LQR, dimana hasil penelitiannya yaitu respon pada sistem kendali optimal LQR ini terdapat *error steady state* sebesar 0.0025N dan *overshoot* sebesar 0.05%. Pengendali LQR yang digunakan untuk pengendalian *web tension* pada *Rewinder Roll* ini juga mampu mengatasi perubahan *set point* secara optimal [12]. Penelitian ini juga memiliki keterkaitan dengan penelitian yang penulis lakukan, yaitu pengontrolan ketegangan kertas (*web tension*), namun dengan pengendali yang berbeda.

Penelitian lain tentang *web tension* juga dilakukan menggunakan pengendali Robust PID, dimana penelitian ini membandingkan antara kendali PID konvensional dengan kendali Robust PID. Hasil penelitian menyatakan kendali Robust PID mampu bekerja lebih baik dibandingkan kendali PID konvensional dan sistem ini tidak menimbulkan osilasi. Namun, kendali Robust PID masih menghasilkan *overshoot* sebesar 1.744% dan lama mencapai *set point* [13]. Keterkaitan penelitian ini dengan penelitian yang penulis lakukan yaitu sama-sama membahas tentang ketegangan suatu *web* namun pada penelitian ini menggunakan dua pengendali yang kemudian hasilnya dibandingkan.

Selain penelitian terkait *web tension* dengan pengendali yang berbeda, terdapat penelitian lain yang berkaitan dengan pengendali yang akan peneliti angkat, seperti penelitian tentang perancangan pengendali *self-tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* untuk pengendalian motor servo pada sistem *tracking* bola, dimana pengendali tersebut dibandingkan dengan pengendali PI, hasil penelitiannya yaitu pengendali *self-tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* untuk *servo tilt* memiliki *overshoot* 22% dan 22,7% dihasilkan oleh pengendali PI, kemudian untuk servo *pan* pengendali *self-tuning* PI menggunakan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Logika fuzzy menghasilkan *overshoot* 10,8%, sedangkan pengendali PI menghasilkan *overshoot* 19,8% [14]. *Plant* yang dibahas pada penelitian ini berbeda dengan yang penulis bahas, namun terdapat keterkaitan dengan pengendali yang digunakan.

Penelitian lain yaitu perancangan kendali *self tuning fuzzy-PI* untuk mengendalikan kecepatan sepeda listrik, penelitian ini membandingkan antara performansi sistem dengan beban dan tanpa beban. Dari performansi dengan beban, menghasilkan waktu tunak (*settling time*) 4.9 detik, *overshoot* 0%, dan *error steady-state* 0. Untuk performansi tanpa beban, menghasilkan waktu tunak (*settling time*) 6.9 detik, *overshoot* 9.3%, dan *error steady-state* 0 [15]. Pada penelitian ini pengendali yang digunakan berhasil mengatasi *error steady state* yang dihasilkan oleh sistem sepeda listrik, hal ini berkaitan dengan penelitian yang penulis lakukan dimana penulis ingin mengatasi *error steady state* yang dihasilkan dari sistem *Rewinder Roll* ketika disimulasikan secara *Close Loop*.

Dari beberapa penelitian tentang *web tension* dan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, sudah dilakukan analisa terhadap beberapa penelitian tersebut. Dan dari studi literatur di atas, pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* cukup baik dalam memperbaiki respon transien pada sistem. Dalam hal ini, terkait pengendalian *web tension* masih belum ada yang memakai pengendali tersebut. Dengan demikian, penulis ingin melakukan penelitian dengan menggunakan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* karena cukup baik dalam memperbaiki respon transien seperti *rise time*, *settling time*, *delay time*, *overshoot* dan *error steady state*.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1 Rewinder Roll

*Rewinder Roll* adalah salah satu bagian dari mesin *coating* atau pemotong kertas. Pada mesin *coating* tersebut terdapat dua buah roll yaitu *rewinder roll* dan *unwinder roll*. *Rewinder roll* merupakan mesin penggulung kembali (penarik) kertas, sedangkan *unwinder roll* berfungsi pengulur kertas. Setelah melalui proses pengeringan kertas yang sudah kering kemudian digulung pada gulungan besar (*Jumbo Roll*) yang selanjutnya akan ditarik kembali untuk dipotong menjadi gulungan lebih kecil [10].

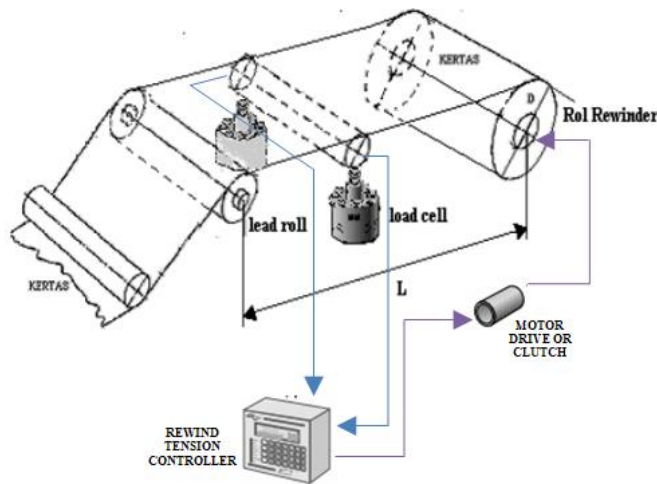
Pada tahap penggulangan kembali inilah *web tension* berperan penting dalam memastikan keluaran dari *rewinder roll* memiliki hasil gulungan yang padat, tidak



## Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

menimbulkan keriput (*wrinkle*), dan seluruh permukaan kertas rata. Bentuk *rewinder roll* dapat dilihat seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2. 1 Rewinder Roll [13]

Proses pengendalian tegangan kertas terjadi ketika *load cell* yang berperan sebagai *transducer* melakukan pengukuran ketegangan kertas berdasarkan beban atau gaya yang dihasilkan dari tegangan kertas dalam proses penggulungan. *Load cell* ini terhubung ke perangkat yang menampilkan nilai ketegangan kertas (*rewind tension controller*) dan secara otomatis mengontrol torsi motor pada *rewinder roll*. Operator memasukkan pengaturan tegangan yang diinginkan (titik pengaturan tegangan) dan tindakan korektif yang tepat dilakukan secara otomatis dengan mengubah torsi motor pada *rewinder roll*. *Rewind tension controller* terus-menerus membandingkan titik pengaturan tegangan dengan tegangan aktual yang diukur oleh *load cell* dan secara otomatis mengambil tindakan korektif untuk memastikan bahwa nilai ketegangan kertas sesuai dengan yang diinginkan.

Pada saat proses penggulungan, sering kali terjadi adanya kecacatan/*wrinkle* yang menyebabkan gulungan kertas menjadi tidak rata, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 2 Kertas cacat (*wrinkle*) [8]

### 2.2.2.2. *Web Tension*

*Web tension* terdiri dari kata *web* yang artinya bahan yang ada pada suatu proses pembuatan dengan cara ditarik secara terus-menerus dari gulungan, sedangkan *tension* merupakan kekuatan ketegangan terukur yang merentangkan *web* [8]. Bahan yang digunakan di sini adalah kertas, dimana kertas tersebut sudah melewati proses di-dryer memiliki variasi pelapisan dan ketebalan pencetakan [9]. Jadi, *web tension* merupakan suatu pengontrolan ketegangan kertas agar permukaan kertas rata dan hasil penggulungan menjadi padat. Pengontrolan ketegangan *web* yang tepat akan menghasilkan produk yang berkualitas dan cacat produk ketika proses produksi akan berkurang [8], dan kontrol ketegangan yang tepat akan membuat proses dapat berjalan pada kecepatan tinggi serta kualitas produk yang dihasilkan juga terjamin.

### 2.2.3. *Pemodelan Dinamika Rewinder Roll*

Pemodelan matematis merupakan proses menggambarkan suatu hubungan matematika dengan masalah yang ada, yang dianggap sulit agar menjadi lebih mudah dan lebih jelas dengan dituangkan dalam bentuk model atau gambar [20]. Berdasarkan hal tersebut, maka penggunaan pemodelan matematis akan memberikan kemudahan bagi seseorang untuk menyelesaikan permasalahan matematika.

*Web tension* merupakan sebuah variabel pengontrolan ketegangan kertas pada *rewinder roll machine* agar permukaan kertas menjadi rata dan hasil gulungan kertas menjadi padat [21]. Hasil gulungan yang padat akan membuat kertas lebih tahan terhadap kelenyapan dan tidak mudah rusak. Namun, jika pengaturan ketegangan tarikan terlalu kuat maka dapat menyebabkan kertas putus, sedangkan jika pengaturan ketegangan tarikan yang terlalu rendah maka akan menyebabkan gulungan menjadi kurang padat (*wrinkle*) [21].

Sebelum membuat pemodelan matematis, terlebih dahulu membuat asumsi-asumsi terhadap *web tension* [13], yaitu:

1. Percepatan  $V_1$  pada *lead roll* adalah konstan.
2. Lebar melintang kertas adalah sama.
3.  $Strain / \epsilon \ll 1$
4. Kertas elastis.
5. Kepadatan kertas tidak ada perubahan.

$$\rho = \rho_u + 1 \quad (2.1)$$

Pemodelan dinamika kertas yaitu sebagai berikut:





1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dimana:

$\sigma$	= Tegangan pada <i>web tension</i>
$\epsilon$	= Regangan pada <i>web tension</i>
$L$	= Panjang antara <i>lead roll</i> dan <i>Rewinder Roll</i>
$A$	= Luas melintang kertas
$E$	= Modulus Elastisitas <i>Young</i> pada kertas
$V$	= Kecepatan pada <i>Rewinder Roll</i>
$V_1$	= Kecepatan pada <i>lead roll</i>
$C$	= Modulus redaman kertas

Persamaan 2.6 di atas mencerminkan dinamika torsi di daerah *rewinder roll* untuk disimulasikan serta dianalisa.

Bagian yang dimanipulasi meliputi motor, *gearbox*, dan *rewinder roll*. Dengan menggunakan hukum Newton kedua persamaan *rewinder* adalah:

$$\sum \tau(t) = J\alpha(t) \quad (2.7)$$

Dimana:

$\alpha$	= Percepatan Rotasi
$J$	= Konstanta Inersia
$\tau$	= Momen Putar atau Torsi

Gaya putar atau torsi masukan  $\tau(t)$ , yang diterapkan pada massa yang dapat diputar dengan inersia massa  $J$ , akan menyebabkan terjadi putaran dengan sudut putar  $\theta(t)$ , dengan kecepatan dan percepatan sudut putar sebesar  $\omega(t)$  dan  $\alpha(t)$ . Adanya sifat-sifat fisik massa mekanik berputar, dapat menyebabkan timbulnya gaya-gaya putar (torsi) lawan, yaitu masing-masing torsi gesek viskos  $\tau_b(t)$ , dengan persamaan:

$$\tau_b(t) = B\omega(t) \quad (2.8)$$

Dimana:

$\omega$	= Kecepatan Rotasi
$B$	= Koefisien Gesek
$\tau_b$	= Momen Putar atau Torsi gesek

Maka persamaan 2.7 dan persamaan 2.8 dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum \tau(t) &= J\alpha(t) \\ \tau(t) - \tau_b(t) &= J\alpha(t) \\ \tau(t) - B\omega(t) &= J\alpha(t) \end{aligned}$$

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\tau(t) = J\alpha(t) + B\omega(t) \quad (2.9)$$

Selain itu hubungan antara kecepatan sudut putar  $\omega(t)$  dan percepatan sudut putar  $\alpha(t)$ , dijabarkan dengan persamaan berikut:

$$\alpha(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (2.10)$$

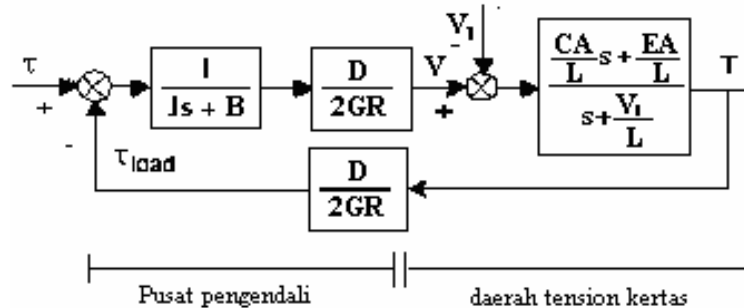
Dari persamaan 2.10 yang disubstitusikan ke persamaan 2.9, maka didapatkan persamaan torsi yang dihasilkan motor yang kemudian di transfer untuk memutar beban, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tau(t) &= J\alpha(t) + B\omega(t) \\ \tau(t) &= J\frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Maka dari persamaan 2.11 didapatkan persamaan Laplace sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tau(t) &= Js\omega(t) + B\omega(t) \\ \tau(t) &= (Js + B)\omega(t) \\ \frac{\omega(t)}{\tau(t)} &= \frac{1}{(Js + B)} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Berdasarkan persamaan 2.6 dan 2.12, blok diagram *web tension* dapat dilinearisasikan sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Diagram Blok *Rewinder Roll* [13]

Berdasarkan blok diagram di atas didapatkan fungsi transfer orde kedua dalam domain-s mulai dari torsi motor sampai *tension* lembar kertas adalah sebagai berikut [13]:

$$\frac{T(s)}{\tau(s)} = \frac{\frac{D EA}{2GRJL} \left(\frac{C}{E}s + 1\right)}{s^2 + \left(\frac{B}{J} + \frac{V_1}{L} + \frac{D^2 CA}{4GR^2 JL}\right)s + \left(\frac{BV_1}{JL} + \frac{D^2 EA}{4GR^2 JL}\right)} \quad (2.13)$$

### 2.3. Sistem Kendali

Sistem kendali dapat diartikan sebagai perintah, regulasi dan perintah yang aktif dan dinamis. Perancangan sistem kendali disesuaikan dengan elemen-elemen yang akan

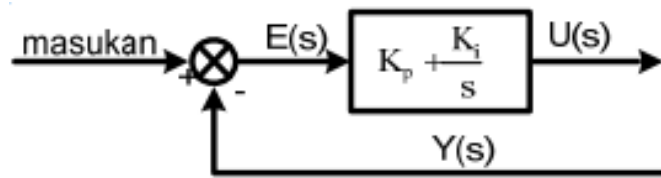
Adapun istilah dasar dalam sistem kendali adalah sebagai berikut:

- ## 2.4. **Ita** Pengendali Proporsional Integral (PI)

Pengendali PI merupakan sistem pengendali kolaborasi antara pengendali proporsional dan pengendali integral [24]. Pengendali PI banyak digunakan pada proses



Industri karena dapat mengatasi permasalahan yang terjadi secara maksimal [19]. Diagram blok pengendali PI dapat dilihat pada Gambar 2.4:



Gambar 2. 4 Diagram Blok Pengendali PI [24]

Pengendali *proportional* mempunyai ciri yaitu memperkecil waktu naik serta memperbesar *overshoot*, dan memperkecil *error* kondisi tunak. Dampak yang ditimbulkan oleh pengendali *proportional* saat diaplikasikan pada sistem yaitu:

1. Memperbesar atau memperkecil *overshoot*.
2. Memperbaiki respon transien, seperti *rise time* dan *settling time*.
3. Mengatasi *error steady state*, untuk mengatasi *Ess* diperlukan nilai  $K_p$  yang besar tetapi hendak membuat sistem jadi tidak normal. Kendali *proportional* sebanding dengan nilai *error*, ialah terus menjadi besar nilai *error* hingga nilai sinyal kendali yang dihasilkan terus menjadi besar.

Pengendali P (*proporsional*) dapat menghasilkan *offset* pada sistem. *Offset* pada sistem dilakukan dengan memperbesar nilai  $K_p$  atau *proportional band*. Jika nilai  $K_p$  terlalu besar maka menyebabkan sistem menjadi tidak stabil yang ditandai dengan timbulnya osilasi. Untuk pengendalian sistem, kendali P dapat berdiri sendiri tanpa didampingi oleh kendali I atau D.

Kontrol integral atau di sebut juga sebagai aksi kontroler *reset*. Kontroler ini bekerja dengan memberikan aksi koreksi terhadap *offset* yang dihasilkan oleh kontrol *proporsional*. Kontrol integral akan melakukan aksi koreksi berdasarkan waktu yang disetel padanya, misalkan setiap 0,5 menit sekali. Kontroler ini tidak dapat berdiri sendiri sehingga harus dikombinasikan dengan kontrol *proporsional*. Keluaran kontrol ini sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan.

Pengaruh kontrol I pada sistem, yaitu:

1. Mampu menghilangkan *error steady state*.
2. Respon yang diberikan kontrol ini pada sistem lebih lambat bila dibandingkan dengan kontrol P, kontrol ini dapat menimbulkan ketidakstabilan sebagai akibat dari penambahan orde sistem.

## 2.5. Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* adalah sistem cerdas yang ditemukan oleh Lotfi A. Zadeh tahun 1965. *Fuzzy* berfungsi untuk membedakan satu himpunan dengan himpunan lainnya sesuai derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak pasti. Teori himpunan ini merupakan pengembangan dari teori himpunan tegas yang tercipta dari cara manusia memahami suatu nilai yang tidak pasti [17]. Nilai keanggotaan pada *Fuzzy* tidak hanya bernilai 0 atau 1, tetapi juga menghasilkan besaran nilai yang terletak diantara 0 dan 1 [17]. Misalnya suhu ruangan, pada himpunan tegas hanya terdapat dua nilai, yaitu dingin bernilai 0 dan panas bernilai 1. Dengan adanya himpunan *Fuzzy*, nilai keanggotaan diantara 0 dan 1 dapat berupa sejuk, hangat, dan normal. Dalam merancang kendali *Fuzzy* ada tiga tahapan, yaitu *fuzzifikasi* (*fuzzification*), sistem inferensi *Fuzzy* (*Fuzzy inference system*) dan *defuzzifikasi* (*deFuzzification*). Hasil dari proses-proses tersebut tergantung dari variabel *Fuzzy*, batas himpunan *Fuzzy*, dan variabel non *Fuzzy*.

Beberapa istilah yang perlu diketahui dalam memahami sistem *Fuzzy*:

### 1. Variabel *Fuzzy*

Variabel *Fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *Fuzzy* yang dapat berupa kecepatan, ketegangan, usia.

### 2. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *Fuzzy* adalah suatu grup yang mewakili kondisi tertentu dalam suatu variable *Fuzzy* [17], contohnya seperti variabel suhu terbagi atas 5 himpunan *Fuzzy*, yaitu: dingin, sejuk, normal, hangat, panas.

Himpunan *Fuzzy* mempunyai dua jenis, yaitu:

a. Linguistik, yaitu pemberian nama suatu kelompok yang mewakili suatu kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami.

b. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel.

### 3. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan merupakan suatu keseluruhan nilai yang diizinkan untuk digunakan dalam suatu variabel *Fuzzy*. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif atau bilangan negatif.

### 4. Domain

Domain merupakan semua nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu himpunan *Fuzzy*. Nilai domain dapat terdiri dari bilangan positif dan juga bilangan negatif [17].

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Fungsi keanggotaan (*Membership Function*)

Merupakan kurva yang memetakan setiap titik-titik *input* ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1 [17].

### 2.5.1. Himpunan Fuzzy

Pada logika *Boolean*, satu individu hanya diizinkan menempati salah satu himpunan saja, sedangkan pada himpunan *Fuzzy* sebuah individu bisa saja merupakan anggota dari pada dua himpunan yang berbeda. Seberapa besar pengaruhnya dalam himpunan tersebut dapat dilihat pada derajat keanggotaannya [17].

Himpunan *Fuzzy A* pada semesta *X* dapat dinyatakan sebagai himpunan pasangan berurutan (*set of ordered pairs*) baik diskrit maupun kontinu.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2.14)$$

Dengan  $\mu_A$  merupakan bentuk fungsi keanggotaan himpunan *Fuzzy A*. Fungsi keanggotaan memetakan setiap anggotanya pada suatu nilai yang terletak di antara [0,1] yang disebut derajat keanggotaan (*membership grade* atau *membership value*). Sehingga  $\mu_A(x)$  merupakan derajat keanggotaan *x* pada himpunan *A*, dimana *x* termasuk dalam semesta pembicaraan *X*.

Beberapa cara untuk merepresentasikan himpunan *Fuzzy* adalah sebagai berikut [17]:

#### 1. Support

*Support* dari himpunan *Fuzzy A* merupakan kumpulan semua titik  $x \in X$  yang memberikan nilai ,  $\mu_A(x) > 0$ , atau

$$Support(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\} \quad (2.15)$$

#### 2. Crossover

Titik *crossover* dari himpunan *Fuzzy A* terletak di titik dimana  $\mu_A(x) = 0,5$  atau

$$Crossover(A) = \{x | \mu_A(x) = 0,5\} \quad (2.16)$$

#### 3. Fungsi Singleton

Fungsi *singleton* merupakan himpunan *Fuzzy* yang mempunyai *support* pada satu titik tunggal pada himpunan  $x \in X$  dengan fungsi keanggotaan = 1

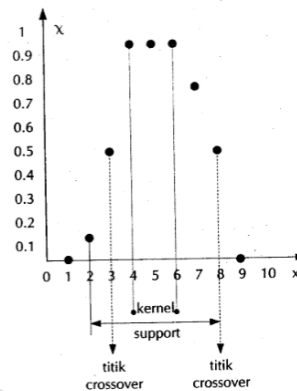
Sebagai contoh dapat dilihat pada tabel berikut ini. Dimana himpunan *Fuzzy X* merupakan bilangan bulat dari 1 sampai 10 dengan derajat keanggotaan yang sudah ditentukan pada tabel di bawah ini.



Tabel 2. 1 Nilai Derajat Keanggotaan Himpunan X

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\mu_A(x)$	0	0,1	0,5	1	1	1	0,8	0,5	0

Istilah-istilah Tabel 2.2 dapat direpresentasikan secara grafis pada gambar:



Gambar 2. 5 Istilah-Istilah dalam Himpunan Fuzzy

### 2.5.2. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi keanggotaan adalah kurva yang memperlihatkan derajat keanggotaan setiap input yang memiliki interval antara 0 sampai 1. pendekatan fungsi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai keanggotaan [17]. Derajat keanggotaan dalam suatu himpunan Fuzzy (*degree of membership*) dilambangkan dengan  $\mu$ .

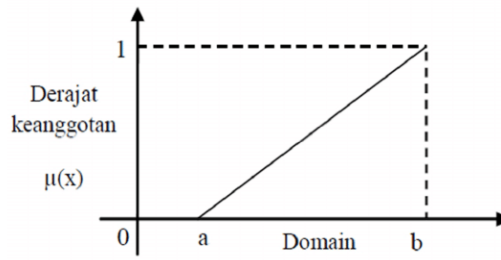
Ada lebih dari satu bentuk fungsi keanggotaan (*Membership Function*) pada sistem Fuzzy. Dan pada kali ini penulis hanya akan membahas fungsi keanggotaan yang akan digunakan dalam pemodelan sistem Fuzzy. Beberapa diantaranya yaitu:

#### 1. Representasi Linear naik

Pada himpunan ini kenaikan himpunan Fuzzy dimulai nilai domain pada derajat keanggotaan terendah, kemudian bergerak naik ke kanan menuju ke nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi yang digambarkan sebagai suatu garis lurus [17].

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

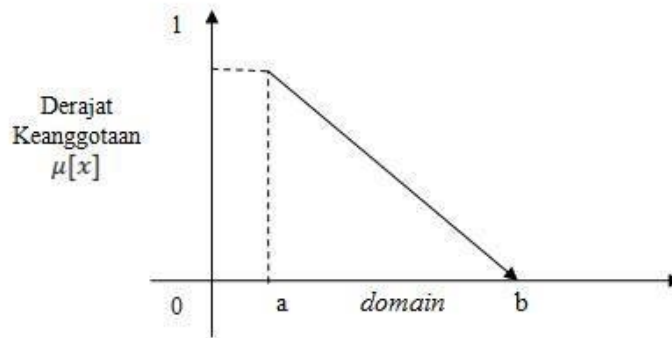
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 6 Representasi Linear Naik [17]

#### 2. Representasi Linear Turun

Adalah kebalikan dari representasi linear naik. Pada model ini kurva berbentuk garis lurus yang bergerak dari nilai tertinggi pada sebelah kiri menuju ke nilai keanggotaannya lebih rendah di sebelah kanan [17].



Gambar 2. 7 Representasi Linear Turun [17]

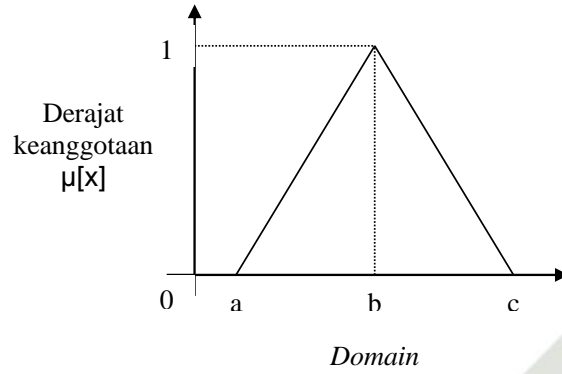
#### 3. Representasi Segitiga

Merupakan bentuk representasi yang paling umum digunakan yang terdiri dari penggabungan antara dua garis linear yaitu representasi linear naik dan representasi linear turun [17]. Kurva segitiga dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases} \quad (2.17)$$

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

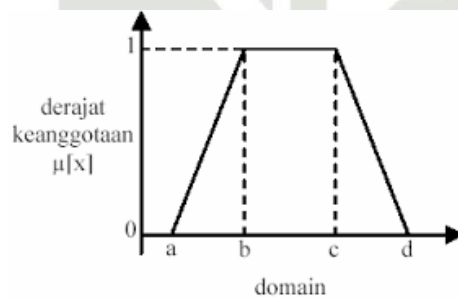


Gambar 2. 8 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga [17]

#### 4. Representasi Trapesium

Hampir sama dengan kurva segitiga tapi yang membedakan terdapat anggota himpunan yang memiliki derajat keanggotaan bernilai satu di beberapa titik nilai keanggotaannya [17]. Kurva trapesium dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \\ 0; & x \geq d \end{cases} \quad (2.18)$$



Gambar 2. 9 Representasi Trapesium [17]

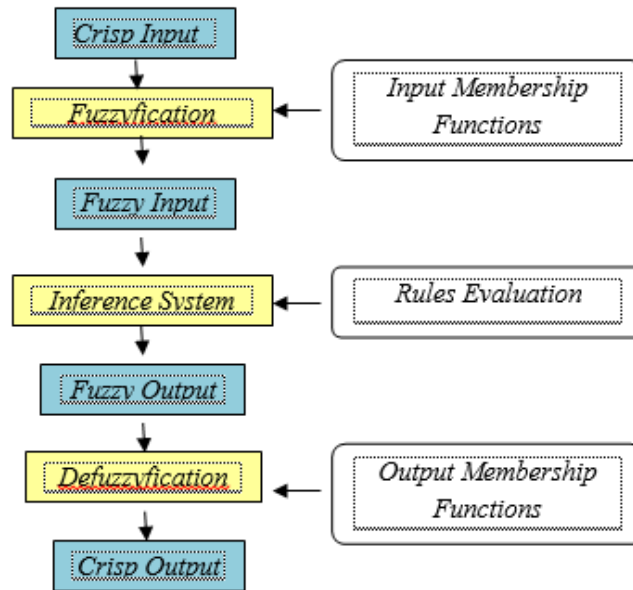
#### 2.5.3 Tahapan Logika Fuzzy

Logika Fuzzy terdiri dari 3 proses yang bertahap, yaitu *fuzzifikasi*, inferensi Fuzzy, dan *defuzzifikasi*.



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 10 Diagram Alur Dari Sistem Logika Fuzzy [17].

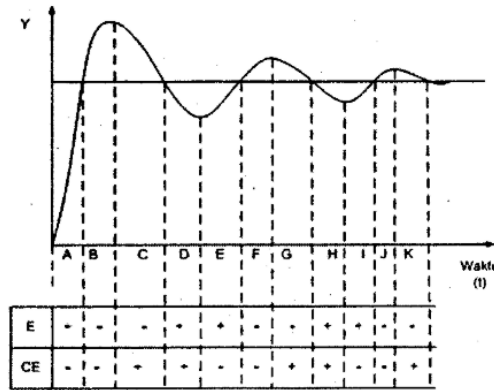
#### 1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah sebuah proses dimana seluruh variabel *input/output* yang berupa nilai tegas diubah ke bentuk himpunan *Fuzzy*. Rentang nilai variabel *input* dikelompokkan menjadi beberapa himpunan *Fuzzy* dan tiap anggota himpunan memiliki derajat keanggotaan tertentu. Derajat keanggotaan himpunan *Fuzzy* dapat dihitung dengan menggunakan rumus fungsi keanggotaan dari segitiga fuzzifikasi [17].

#### 2. Inferensi Fuzzy (Logika Pengambilan Keputusan)

Saat fungsi keanggotaan telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah membuat *rule base* pengendalian untuk selanjutnya dapat mengubah setiap *input Fuzzy* menjadi *output Fuzzy* berdasarkan aturan *if-then* yang telah ditentukan pada *rule base*. Tahap ini disebut sebagai tahap inferensi, yang merupakan bagian penentuan aturan dari sistem logika *Fuzzy* [17].

Terdapat 2 cara untuk menentukan *rule base*, yaitu dengan metode deterministik dan heuristik. Pendekatan heuristik dibuat berdasarkan respon kualitatif pada *plant* yang di simulasikan secara *Close Loop*. Salah satu referensi untuk membuat *rule base* dengan tujuan memperpendek *rise time* dan meminimalkan *overshoot* dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan Tabel 2.3 dimana N (Negatif), Z (Zero), dan P (Positif).



Gambar 2. 11 Respon Grafik Pada Bidang Fase [17]

Tabel 2. 2 Basis aturan *Fuzzy* dengan tiga nilai linguistik (N, Z, P) [17]

Aturan ke	Error	Delta error	Output	Referensi	Fungsi
1	P	Z	P	Titik a, e, i	Memperpendek <i>rise time</i>
2	Z	N	N	Titik b, f, j	Mengurangi <i>overshoot</i>
3	N	Z	K	Titik c, g, k	Mengurangi <i>overshoot</i>
4	Z	P	P	Titik d, h, l	Mengurangi osilasi
5	Z	Z	Z	<i>Set point</i>	Sistem berhenti
6	P	N	P	Rentang a, e	Memperpendek <i>rise time</i>
7	N	N	N	Rentang b, f, j	Mengurangi <i>overshoot</i>
8	N	P	N	Rentang c, g	Mengurangi <i>overshoot</i>
9	P	P	P	Rentang d, h	Mengurangi osilasi
10	P	N	Z	Rentang l	Sistem berhenti
11	N	P	Z	Rentang k	Sistem berhenti

Selain itu terdapat 3 aturan yang harus dipatuhi dalam merancang *rule base*, yaitu:

1. Kelengkapan
2. Kekonsistenan
3. Kekontinuan

Sedangkan untuk operasi implikasi dapat memilih antar menggunakan *or* atau *and*.

### 3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses kebalikan dari fuzzifikasi, defuzzifikasi bekerja dengan mengganti nilai samar pada *Fuzzy* menjadi nilai tegas yang merupakan masukan pada *plant*.

*Input* dari proses Defuzzifikasi adalah suatu himpunan *Fuzzy* yang diperoleh dari komposisi

aturan Fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan Fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan Fuzzy dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tegas (*crisp*) tertentu sebagai *output* [17].

Ada beberapa bentuk metode Defuzzifikasi, yaitu:

1. Metode *Centroid (Composite Moment)*  
Di metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat ( $z^*$ ) daerah Fuzzy.
2. Metode *Bisektor*  
Di metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain Fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan separuh dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah Fuzzy.
3. Metode *Of Maximum (MOM)*  
Di metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.
4. Metode *Largest Of Maximum (LOM)*  
Di metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.
5. Metode *Smallest Of Maximum (SOM)*  
Di metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

Untuk memiliki kriteria yang cocok dalam menentukan metode defuzzifikasi, berikut adalah rangkuman dari berbagai metode *defuzzifikasi* yang ada:

Tabel 2. 3 Rangkuman kriteria metode *defuzzifikasi* yang sering digunakan [17]

	COA	MOM	LOM	SOM	CEA
<b>Kontinuitas</b>	Baik	Kurang baik	Kurang baik	Kurang baik	Kurang baik
<b>Disambiguitas</b>	Baik	Baik	Baik	Baik	Kurang baik
<b>Plausabilitas</b>	Ya	Ya	Tidak	tidak	Ya
<b>Komputasi</b>	Kurang baik	Baik	baik	Baik	Kurang baik



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## 2.6. Model Fuzzy Mamdani

Model *Mamdani* dikenal dengan Metode *Sum*. Model ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan *output*, diperlukan empat tahapan:

### 1. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Pada model *Mamdani*, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan Fuzzy.

### 2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada model *Mamdani*, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*.

### 3. Komposisi Aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada tiga cara yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem Fuzzy, yaitu *max*, *additive* dan *probabilistic OR* (*prob or*).

#### a. Metode Max (*Maximum*)

Di metode Max ini, *output* himpunan Fuzzy diperoleh dengan cara pengambilan nilai maksimum aturan, lalu memodifikasi daerah Fuzzy, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (*union*). Apabila digunakan fungsi implikasi *min*, maka metode komposisi ini sering disebut dengan nama *max-min* atau *min-max* atau *mamdani*.

#### b. Metode Additive (*Max-Min*)

Pada metode *Additive* ini, solusi himpunan Fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *bounded-Max-Min* terhadap semua *output* daerah Fuzzy.

#### c. Metode Probabilistik OR (*prob or*)

Pada metode Probabilistik OR ini, solusi himpunan Fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah Fuzzy.

### 4. Defuzzifikasi

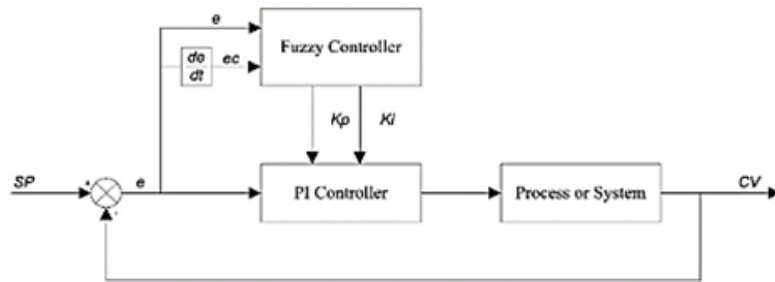
Ada beberapa bentuk metode defuzzifikasi yang digunakan pada model *mamdani*, yaitu: *Centroid*, *Bisektor*, *Mean of Maximum*, *Largest of Maximum* atau *Smallest of Maximum* [17].

## 2.7. Auto Tuning Menggunakan Fuzzy

Pengontrol Auto Tuning Menggunakan Fuzzy adalah pengontrol yang mengambil struktur pengontrol PI konvensional sebagai basisnya, dimana parameter pengontrol PI

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pertama kali diatur dengan metode penyetelan konvensional, misalnya metode *loop* tertutup Ziegler-Nichols [25], dan kemudian secara otomatis diatur oleh pengontrol *Fuzzy*. Struktur pengontrol *Fuzzy* yang digunakan dalam pengontrol *Fuzzy-PI* sama dengan pengontrol logika *Fuzzy*, yang terdiri dari antarmuka *fuzzification*, basis pengetahuan, inferensi, dan antarmuka *defuzzification*. Setiap fungsi komponen dijelaskan secara rinci di pembahasan Logika *Fuzzy*. Diagram blok dari pengontrol *Fuzzy-PI* yang diusulkan ditampilkan pada gambar 2. 15 yang menunjukkan variabel *input* dan *Output* dari setiap pengontrol. Untuk pengontrol *Fuzzy*, variabel *input* adalah *error* ( $e$ ) dan *error changing rate* ( $ec$  atau  $de/dt$ ), sedangkan variabel *output*  $K_p$  dan  $K_i$ . Desain pengontrol diadaptasi dari Si dan Wang [26], yang mencakup set *Fuzzy*, nilai linguistik, aturan *Fuzzy*, dan persamaan untuk menghitung nilai baru  $K_p$  dan  $K_i$  di pengontrol PI.



Gambar 2. 12 Diagram Pengendali Auto Tuning Menggunakan Fuzzy [25]

Diagram di atas menggambarkan kontrol Logika *Fuzzy* digunakan sebagai *tuning* parameter kontroler PI dengan *error* ( $e$ ) dan *delta error* ( $\Delta e$ ) sebagai masukan (*input*), dan parameter delta  $K_p$  dan  $K_i$ , sebagai keluaran (*output*) kontrol Logika *Fuzzy* [27].

## 2.8. Identifikasi Respon Transien

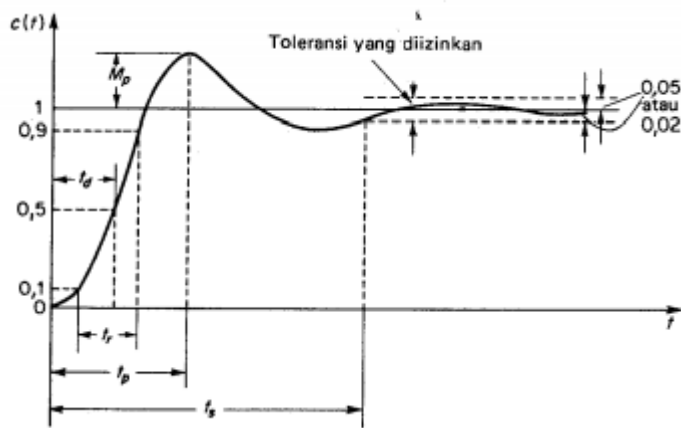
Respon transien yang digunakan pada penelitian ini adalah respon transien orde dua, yang mempunyai fungsi alih dengan pangkat  $s$  tertinggi dua. Biasanya dinyatakan dengan rasio redaman  $\zeta$ , frekuensi alami tak teredam  $\omega_n$ . Identifikasi sistem yang mengacu pada respon *transien* sistem dalam kondisi loop terbuka. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan *step* [23]. Sistem yang digunakan pada pengaturan *web tension* pada *Rewinder Roll* merupakan sistem orde 2 yang ditunjukkan pada gambar berikut:

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 13 Spesifikasi Respon Transien [23]

Berikut beberapa karakteristik respon transien yaitu [23]:

- Waktu tunda (*delay time* ( $t_d$ )) ialah waktu yang dibutuhkan reaksi buat menggapai 50% dari harga akhir puncak lewatn lebih yang awal.
- Waktu naik (*rise time* ( $t_r$ )) ialah waktu yang dibutuhkan reaksi buat naik dari 10% sampai 90% sampai akhir sistem redaman lebihnya ataupun dari 0 sampai 100% dari harga akhir sistem redaman minimnya.
- Waktu puncak (*peak time* ( $t_p$ )) ialah waktu yang dibutuhkan reaksi buat menggapai puncak lewatn (*overshoot*) dari lewatn yang awal.
- Waktu tunak (*settling time* ( $t_s$ )) ialah waktu yang dibutuhkan kurva reaksi buat menggapai serta menetap pada wilayah pita toleransi antara 2% - 5% dari harga kesimpulannya.
- Lewatan puncak (*peak overshoot* ( $M_p$ )) ialah harga lewatn puncak ataupun lewatn maksimum dari kurva reaksi yang diukur dari harga satu( 100%).
- Kesalahan tuak (*error steady state* ( $ess$ )) ialah kesalahan yang ialah selisih antara keluaran yang sesungguhnya dengan keluaran yang diharapkan.

$$Ess = R_{ss} - C_{ss} \quad (2.18)$$

Dimana:

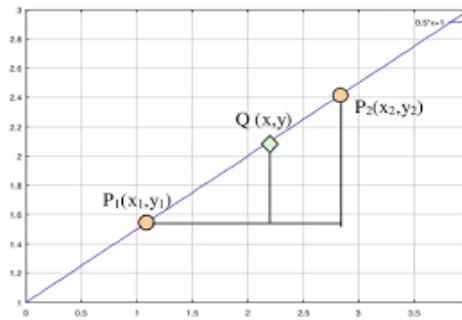
- $Ess$  = *Error Steady State*
- $R_{ss}$  = Masukan sistem pada *steady state*
- $C_{ss}$  = Keluaran sistem pada *steady state*

## 2.9. Interpolasi Linear

Interpolasi merupakan cara untuk menentukan titik-titik antara dari n buah titik dengan menggunakan suatu fungsi pendekatan tertentu. Salah satu metode interpolasi adalah



Interpolasi linear yaitu menentukan titik-titik antara 2 buah titik dengan menggunakan garis lurus [29].



Gambar 2. 14 Kurva Interpolasi Linear

Persamaan garis lurus yang melalui 2 titik  $P_1(x_1, y_1)$  dan  $P_2(x_2, y_2)$  dapat dituliskan dengan:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.19)$$

Sehingga diperoleh persamaan dari interpolasi linear sebagai berikut:

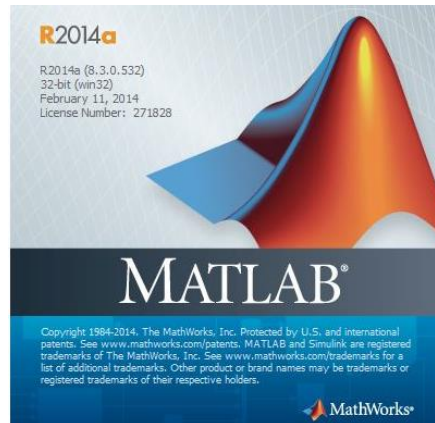
$$y = y_1 + (x - x_1) \left( \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2.20)$$

Algoritma Interpolasi Linear adalah sebagai berikut:

1. Tentukan dua titik  $P_1$  dan  $P_2$  dengan koordinatnya masing-masing  $(x_1, y_1)$  dan  $(x_2, y_2)$
2. Tentukan nilai  $x$  dari titik yang akan dicari
3. Hitung nilai  $y$  dengan persamaan
4. Tampilkan nilai titik yang baru  $Q(x, y)$

Pada penelitian ini interpolasi linear dilakukan dengan menggunakan Ms. Excel. Setelah *output* sistem didapatkan dari hasil simulasi, data *workspace output* tersebut disimpan. Kemudian baru dilakukan interpolasi linear terhadap nilai *output* yang tidak terdapat pada data *workspace*.

## 2.10. MATLAB



Gambar 2. 15 Simbol Matlab 2014a

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [30].

Matlab adalah merek *software* yang dikembangkan oleh Mathworks.Inc. *Software* ini menggunakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berdasarkan pada matriks dan digunakan untuk teknik komputasi numerik, menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Matlab banyak digunakan di bidang matematika dan komputasi, pengembangan dan algoritma, Pemrograman Modeling, Simulasi, pembuatan *prototype*, analisa data, eksplorasi dan visualisasi, analisis numerik dan *statistic*, dan pengembangan aplikasi teknik [30].

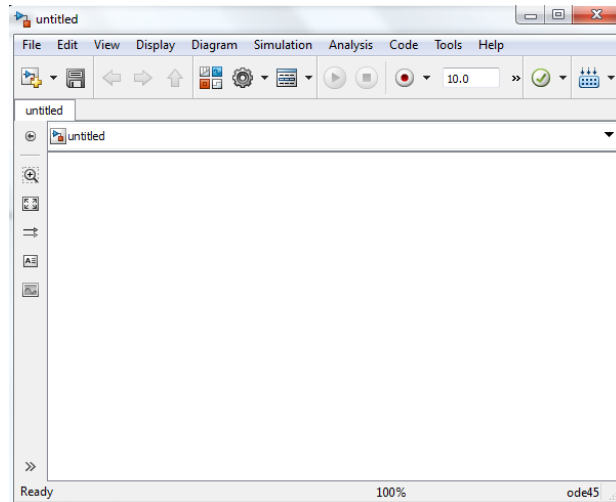
Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu:

1. *Command Window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Current Directory* digunakan untuk menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan Matlab.
3. *Command History* berfungsi untuk menampilkan apa yang telah digunakan sebelumnya yang kemudian dapat digunakan kembali.
4. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

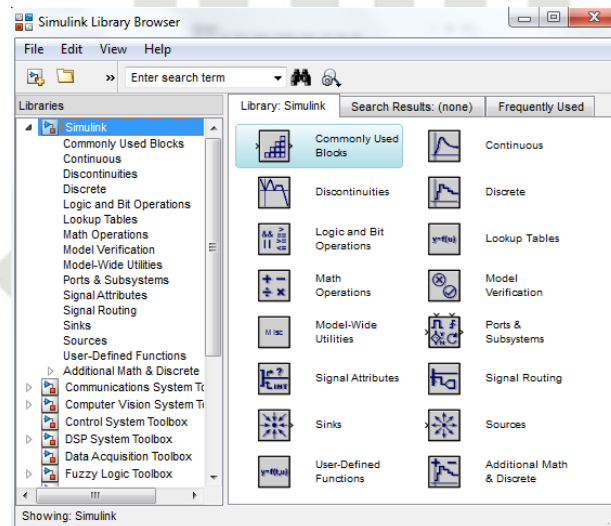
Pada penelitian ini dilakukan pemrograman modeling dan simulasi untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. fitur Matlab yang digunakan untuk simulasi ini disebut *Simulink*.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 16 Tampilan Model Simulink pada Matlab



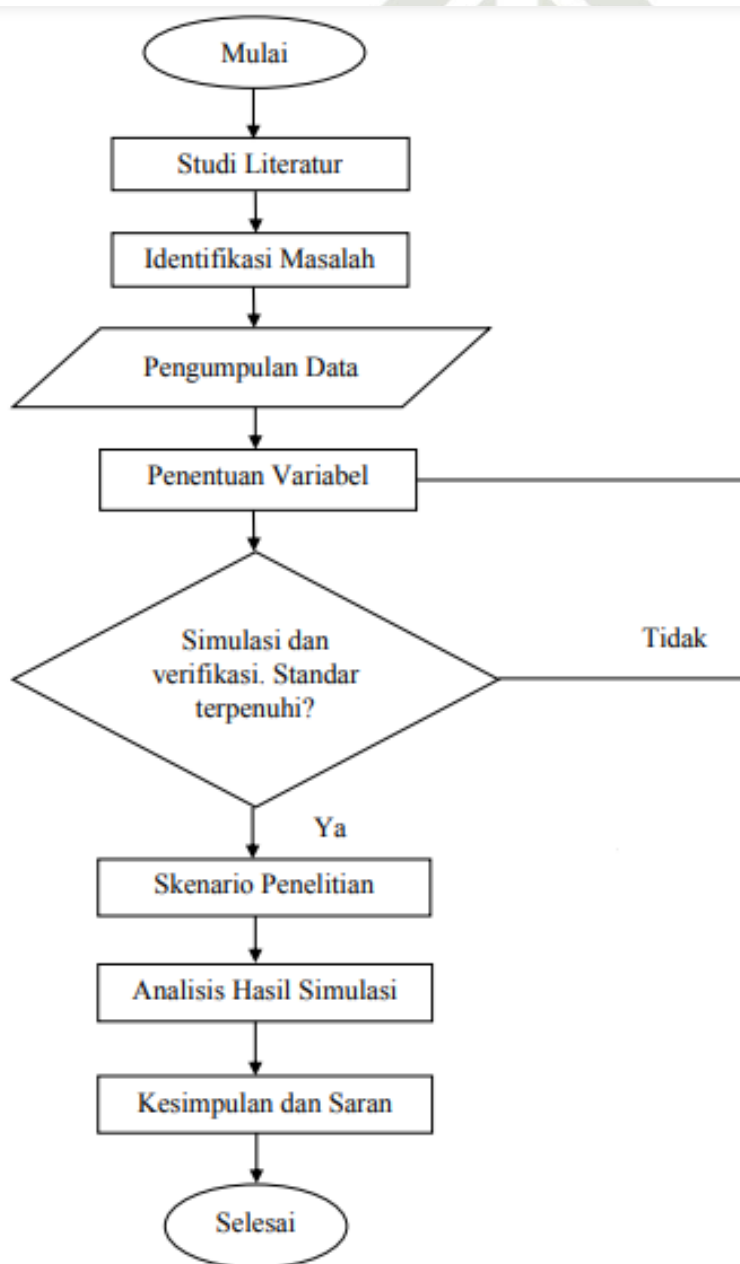
Gambar 2. 17 Kotak Dialog *Simulink Library*



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Alur Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini peneliti melakukan beberapa tahapan yang dimulai dari penentuan judul, perumusan masalah, tujuan yang diinginkan, proses permodelan matematis sistem, perancangan pengendali untuk mendapatkan hasil akhir dalam penelitian tugas akhir ini. Jenis penelitian ini adalah simulasi. Skema penelitian yang dilakukan dapat digambarkan melalui *flowchart* berikut:



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

### 3.2. Tahapan Penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian tersebut, agar tujuan penelitian dapat tercapai, beberapa tahapan penelitian yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Tahap yang pertama yaitu studi literatur yaitu mencari dan mempelajari penelitian terkait dari beberapa referensi baik dari buku, jurnal, *paper* atau sumber lainnya. Hal yang dipelajari adalah pemodelan matematis *web tension* pada *Rewinder Roll*, pengendali *Auto Tuning* Menggunakan Fuzzy.

#### 2. Identifikasi Masalah

Masalah yang dibahas dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah performansi sistem menggunakan pengendali *PI Tuning* Menggunakan Logika Fuzzy untuk dipasang pada *web tension* guna mengatasi *error steady state* yang dihasilkan dari simulasi *Close Loop*.

#### 3. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ini data-data terkait akan dikumpulkan untuk mengetahui tipe/karakteristik dari sistem, seperti *set point* sebesar 0.5N, hal-hal yang berhubungan dengan perancangan pengendali, dan ketetapan *transfer function* sistem, yaitu:

$$TF = \frac{a}{bs^2 + cs + d} \quad (3.1)$$

#### 4. Penentuan Variabel

Setelah nilai masing-masing variabel pada tahap pengumpulan data didapatkan, kemudian variabel-variabel tersebut disubstitusikan ke dalam pemodelan matematis sistem dalam bentuk persamaan *transfer function* berikut:

$$\frac{T(s)}{\tau(s)} = \frac{\frac{D EA}{2GRJL} \left(\frac{C}{E}s + 1\right)}{s^2 + \left(\frac{B}{J} + \frac{V_1}{L} + \frac{D^2 CA}{4GR^2 JL}\right)s + \left(\frac{BV_1}{JL} + \frac{D^2 EA}{4GR^2 JL}\right)} \quad (3.2)$$

#### 5. Verifikasi Model Matematis

Verifikasi model matematis sistem adalah tahap pengujian model matematis dalam bentuk *transfer function* dari sistem yang sudah diubah ke dalam bentuk bahasa pemrograman Matlab *Simulink*. Apakah hasil keluaran sudah sesuai dengan rujukan dengan *web tension* pada *Rewinder Roll* [11].

#### 6. Skenario Penelitian

Skenario penelitian merupakan tahapan/langkah secara umum tentang penelitian yang dilakukan seperti melakukan pengujian terhadap sistem atau *plant*.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
  2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

### 7. Analisa Hasil Simulasi

Setelah melakukan pengujian terhadap pengendali *Fuzzy* ditambah pengendali PI pada *plant*, kemudian dianalisa hasil keluaran dari *plant* setelah dan sebelum dipasang pengendali, apakah pengendali dapat mengatasi *error steady state* pada sistem.

### 8. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisa hasil dan sudah sesuai dengan tujuan maka penelitian yang dilakukan berhasil dan dapat ditarik kesimpulan, serta memberikan saran untuk dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

### 3.3. Pemodelan Matematis *Rewinder Roll*

Berdasarkan persamaan 2.14 model fungsi alih sistem *Rewinder Roll*, selanjutnya parameter yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 1 Parameter Pemodelan *Rewinder Roll* [13]

No.	Parameter	Keterangan	Nilai
1.	D	Diameter <i>Rewinder Roll</i>	1,056m
2.	GR	<i>Gear Ratio</i>	3
3.	J	Total Inersia pada motor	144,967 kgm <sup>2</sup>
4.	A	Luas melintang kertas	1,72 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup>
5.	V <sub>1</sub>	Kecepatan kertas pada <i>lead roll</i>	152m/sec
6.	L	Panjang antara <i>lead roll</i> dan <i>Rewinder Roll</i>	5 m
7.	C	Modulus redaman kertas	5 N sel/m <sup>2</sup>
8.	B	Koefisien gesek pada motor penggerak	2,23 x 10 <sup>-3</sup> N m/rad/sec
9.	E	Modulus Elastisitas <i>Young</i> pada kertas	1719 x 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>

Dengan memasukkan nilai-nilai parameter yang terdapat pada tabel 3.1 maka, didapatkan *transfer function* sebagai berikut:

$$\frac{T(S)}{\tau(S)} = \frac{\frac{1.056 \text{ m} (1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \times (1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2)) \left( \frac{5 \text{ Nsec/m}^2}{1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2} s + 1 \right)}{2(3) (144.967 \text{ kgm}^2) (5\text{m})}}{s^2 + \left( \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ Nm/rad/sec}}{144.967 \text{ kgm}^2} + \frac{152 \text{ m/sec}}{5\text{m}} + \frac{1.056^2}{4(3)^2} \times \frac{5 \text{ Nsec/m}^2 \times 1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5\text{m}} \right) s + \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ Nm/sec}}{144.967 \text{ kgm}^2} \times \frac{152 \text{ m/sec}}{5\text{m}} + \frac{1.056^2}{4(3)^2} \times \frac{1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \times 1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5\text{m}}}$$

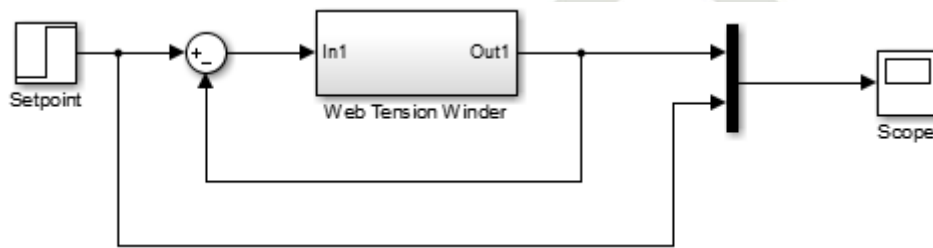
$$\frac{T(S)}{\tau(S)} = \frac{2.088 \times 10^{-6} s + 717.922}{s^2 + 31.9885s + 173.535237} \quad (3.3)$$



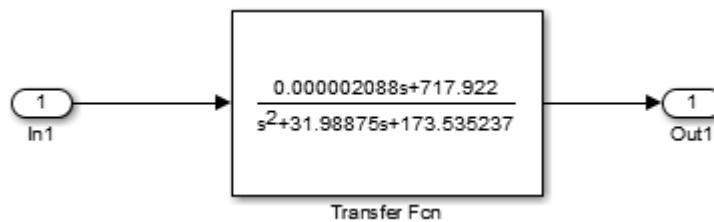
### 3.4. Verifikasi Pemodelan Matematis

Verifikasi pemodelan matematis untuk sistem *Rewinder Roll* diuji menggunakan *Simulink* Matlab R2014a dengan cara sistem disimulasikan secara *Close Loop* dengan memasukkan nilai yang terdapat pada persamaan 3.3.

Simulasi dinamika pada sistem *Rewinder Roll* akan dimodelkan ke bentuk *single input* dan *single output* dalam blok diagram, dengan torsi motor sebagai *manipulated variable* (*input*) dan *tension* sebagai *process variable* (*output*). Simulasi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:

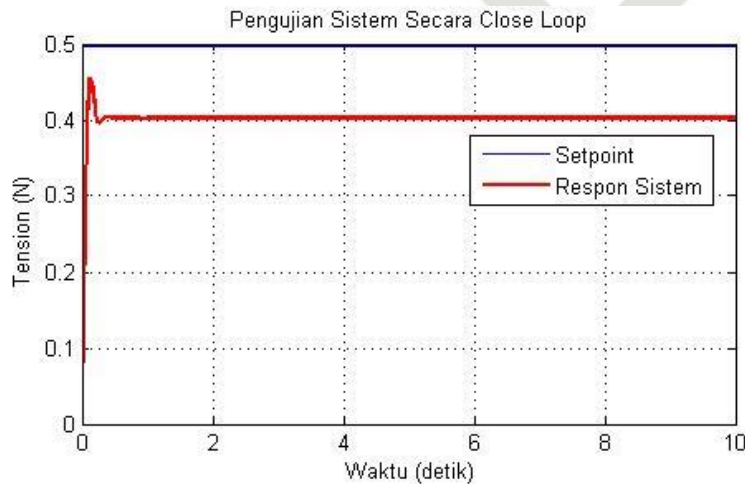


Gambar 3. 2 Rangkaian *Simulink Close Loop* pada Sistem *Rewinder Roll*



Gambar 3. 3 Subsistem Blok *Rewinder Roll*

Setelah merancang diagram blok *Simulink* sistem tersebut, maka sistem disimulasikan dan menghasilkan grafik yang menyatakan respon keluaran sistem secara *Close Loop*. Grafik respon keluaran sistem dalam dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 4 Respon Sistem secara *Close Loop* pada *Rewinder Roll*

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil pengujian sistem secara *Close Loop* tanpa pengendali di atas menunjukkan respon keluaran sistem tidak dapat menyesuaikan nilai *set point* yang ditentukan, maka model matematis sistem *Rewinder Roll* ini dapat dikatakan sudah valid. Pada gambar 3. 4 di atas menunjukkan nilai *set point* sebesar 0.5N, namun hasil respon keluaran sistem menunjukkan respon tidak mencapai *set point*, memiliki *error steady state* senilai -0.0974N, dan *overshoot* senilai -0.091%.

### 3.5. Skenario Penelitian

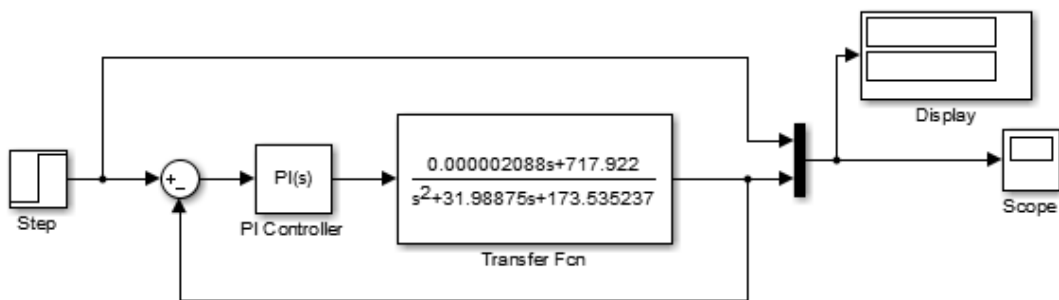
Penelitian ini menggunakan pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy* dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam program Matlab, berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *set point* 0.5N. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian dengan melihat hasil grafik pada simulasi, data yang diambil yaitu respon *transien* dari pengujian tersebut. Adapun pengujian yang akan dilakukan yaitu:

1. Simulasi sistem secara *Close Loop*.
2. Pengujian pengendali *PI Tuning*
3. Pengujian pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy*
4. Pengujian sistem dengan perubahan *set point* 1N dan 1.5N.

### 3.6. Perancangan Pengendali

#### 3.6.1. Perancangan Pengendali *PI-Tuning*

Pada perancangan *PI-Tuning* ini, langkah pertama yang dilakukan adalah membuat rangkaian simulink pada Matlab seperti yang ditunjukkan pada 3.5 di bawah ini.

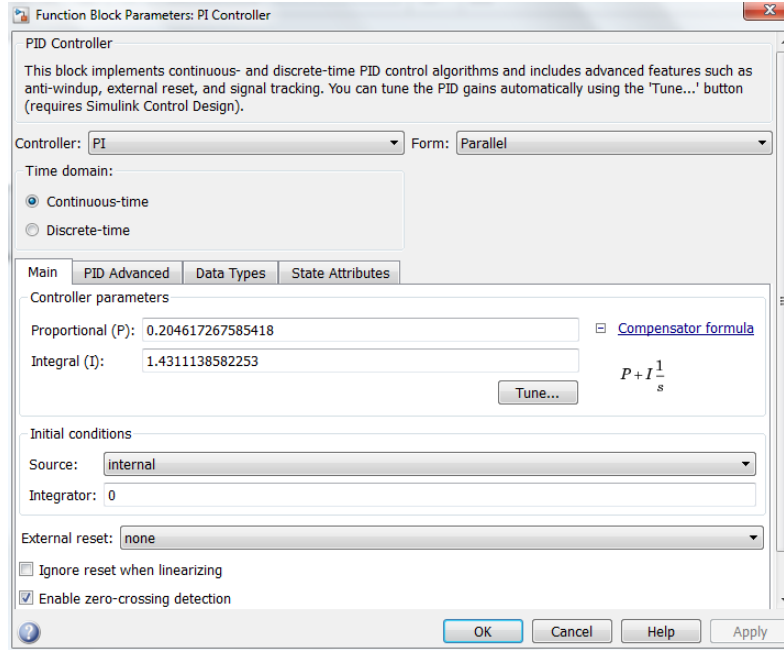


Gambar 3. 5 Rangkaian *Simulink PI-Tuning*

Kemudian double klik pada blok *PI Controller* dan akan muncul tampilan seperti gambar 3. 6 berikut.

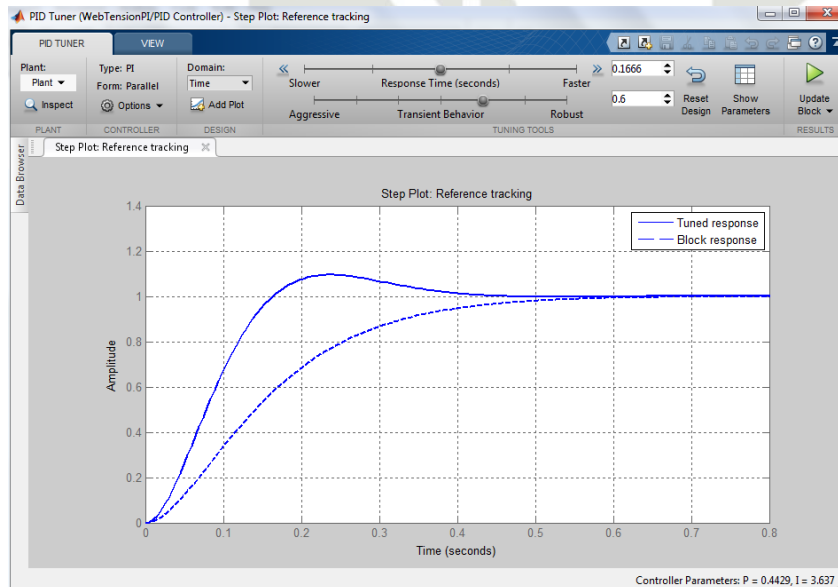
## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 6 Tampilan blok *PI Controller*

Langkah selanjutnya adalah melakukan tuning dengan klik tombol *tune* yang ada pada tampilan blok *PI Controller* di atas. Kemudian geser tombol bulat yang ada pada garis *Slower* dan *Aggressive* hingga mendapatkan nilai P dan I yang menghasilkan grafik *scope* yang mencapai *set point*, respon sistem yang cepat dan stabil, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. 7 di bawah ini..



Gambar 3. 7 Tampilan Grafik *PI-Tuning*



### 3.6.2. Perancangan Pengendali Auto Tuning Menggunakan Fuzzy

Pada perancangan ini digunakan metode *Fuzzy Mamdani*. Metode *Fuzzy Mamdani* digunakan karena perancangannya yang sederhana dan mudah dipahami [31]. Perancangan pengendali *Fuzzy* terdiri dari 3 tahapan, yaitu:

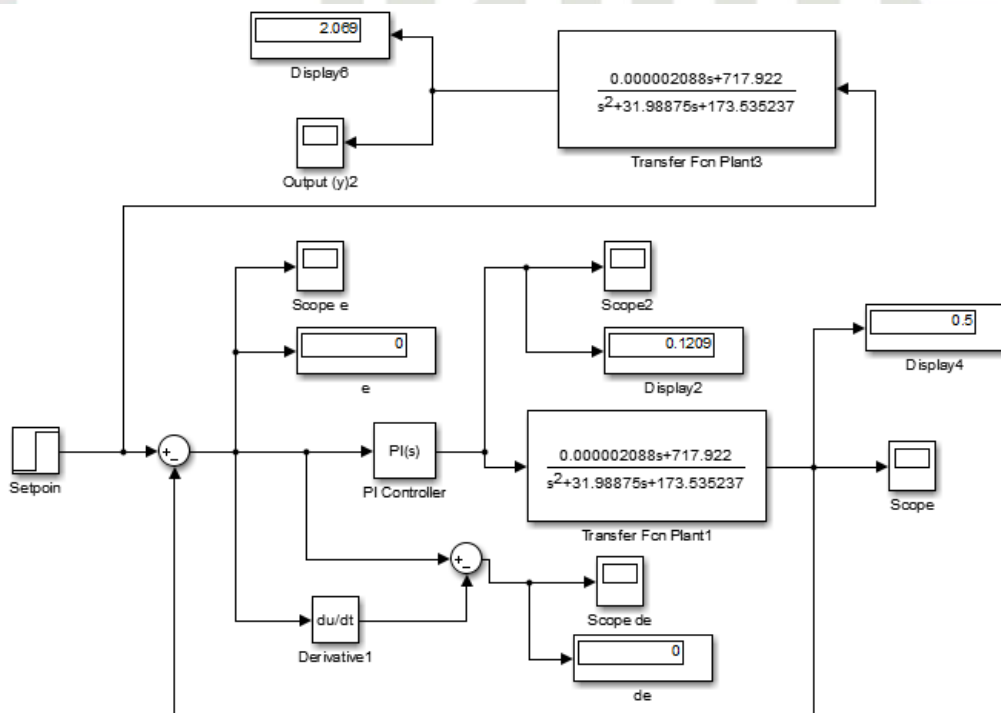
#### 1. Fuzzifikasi

Pada tahap ini, variabel linguistik diubah ke dalam bentuk himpunan *Fuzzy*. Variabel linguistik *input Fuzzy* terdiri dari *error* dan *delta error*, dimana:

$$e(t) = y_p(t) - y(t) \quad (3.4)$$

$$\Delta e(t) = e(t) - e(t-1) \quad (3.5)$$

Lebar fungsi keanggotaan untuk *error* dan *delta error* didapatkan dari rangkaian penentuan E dan Delta E seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. 7 berikut ini.



Gambar 3. 8 Rangkaian Simulink Penentuan Error dan Delta Error.

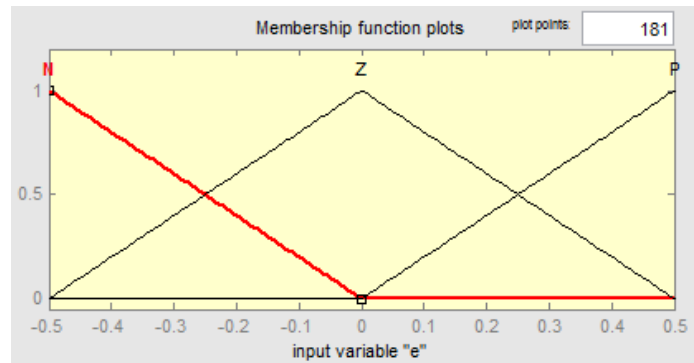
Pada rangkaian penentuan *error* dan *delta error* di atas, nilai P dan I dimasukkan ke dalam blok *PI Controller* sesuai dengan hasil *tuning PI*. Kemudian rangkaian tersebut di *run* dan menghasilkan nilai *error* 0 dan nilai *delta error* 0, karena nilai *error* dan *delta error* menunjukkan angka 0, maka nilai tersebut diganti dengan nilai *set poin* yaitu 0.5.

Untuk nilai rentang himpunan (*display range*) *error* dan *delta error* diambil dari nilai *set point* yaitu 0.5 dan untuk rentang parameter himpunan *error* dan *delta error* dimulai dari

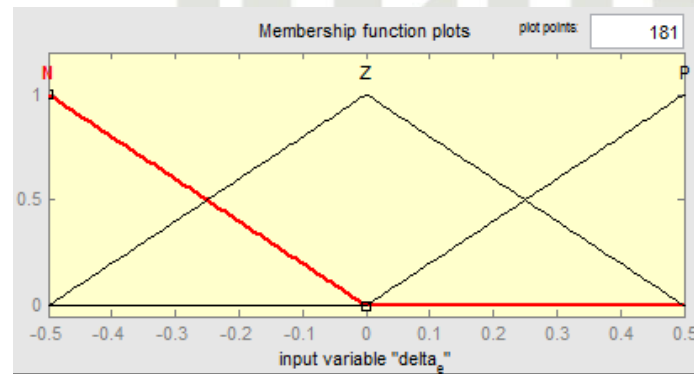
### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$[-1 -0.5 0]$ ,  $[-0.5 0 0.5]$ ,  $[0 0.5 1]$  pada masing-masing anggota himpunan N, Z, P yang memiliki rentang nilai sebesar 0,5.

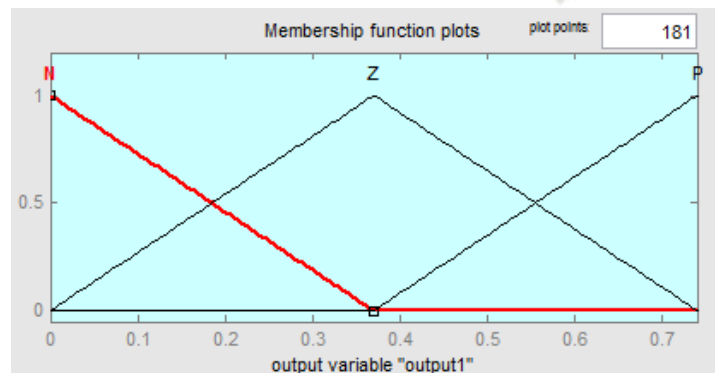


Gambar 3. 9 Variabel Input “Error” Himpunan Fuzzy



Gambar 3. 10 Variabel Input “Delta Error” Himpunan Fuzzy

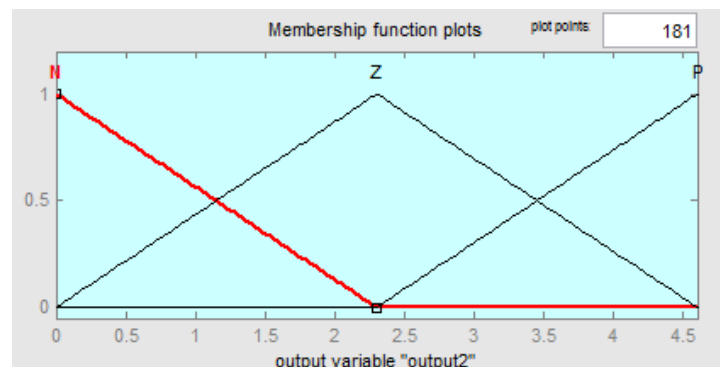
Selanjutnya untuk menentukan nilai rentang himpunan (*display range*) *output1* diambil dari nilai  $K_p$  dan nilai rentang himpunan (*display range*) *output2* diambil dari nilai  $K_i$ . Kemudian untuk rentang parameter himpunan *output1* dimulai dari  $[-0.37 0 0.37]$ ,  $[0 0.37 0.74]$ ,  $[0.37 0.74 1.48]$  pada masing-masing anggota himpunan N, Z, P. Sedangkan untuk rentang parameter himpunan *output2* dimulai dari  $[-2.3 0 2.3]$ ,  $[0 2.3 4.6]$ ,  $[2.3 4.6 9.2]$  pada masing-masing anggota himpunan N, Z, P.



Gambar 3. 11 Variabel Output 1 “Kp” Himpunan Fuzzy

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 12 Variabel Output 2 “Ki” Himpunan Fuzzy

## 2. Rule Base

Terdapat dua pendekatan yang dipakai dalam membuat *rule base*, yaitu pendekatan heuristik dan pendekatan deterministik. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan pendekatan heuristik dimana, pendekatan ini lebih mudah dalam pengaplikasiannya. Pada pendekatan heuristik, *rule base* dirancang berdasarkan pengetahuan kualitatif dari respon *plant* secara *Close Loop*. Pada perancangan *plant* yang bertujuan untuk menghasilkan respon *plant* dengan nilai *error steady state* yang kecil maka aturan-aturan Tabel 2.3. dapat dijadikan sebagai acuan dalam membuat *rule base*. Adapun *rule base* yang dibuat adalah sebagai berikut:

1. If (Error is N) and (Derror is N) then (Output1 is N) and (Output2 is N)
2. If (Error is N) and (Derror is Z) then (Output1 is N) and (Output2 is N)
3. If (Error is N) and (Derror is P) then (Output1 is Z) and (Output2 is Z)
4. If (Error is Z) and (Derror is N) then (Output1 is N) and (Output2 is Z)
5. If (Error is Z) and (Derror is Z) then (Output1 is Z) and (Output2 is Z)
6. If (Error is Z) and (Derror is P) then (Output1 is P) and (Output2 is P)
7. If (Error is P) and (Derror is N) then (Output1 is Z) and (Output2 is Z)
8. If (Error is P) and (Derror is Z) then (Output1 is P) and (Output2 is P)
9. If (Error is P) and (Derror is P) then (Output1 is P) and (Output2 is P)

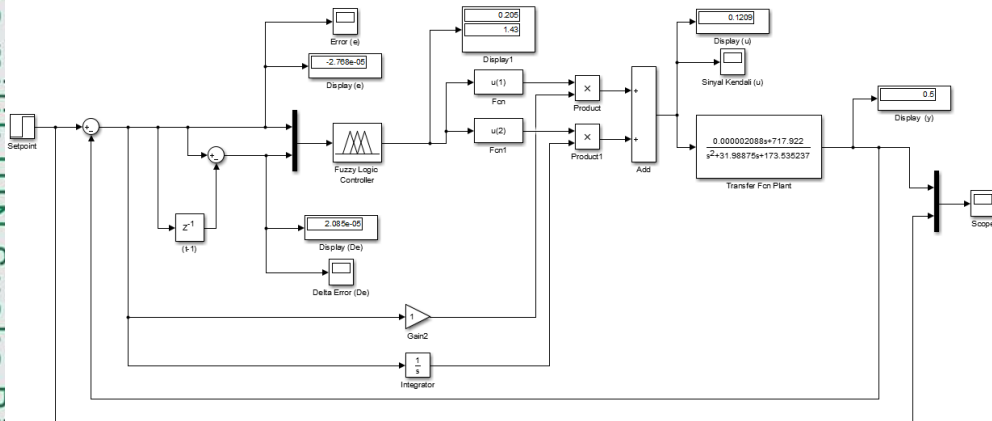
Tabel 3. 2 Rule Base Fuzzy

Error \ Derror	Negative	Zero	Positive
Negative	Kecil	Kecil	Sedang
Zero	Kecil	Sedang	Besar
Positive	Sedang	Besar	Besar



## Defuzzifikasi

Metode defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *centroid* berdasarkan karakteristiknya yang terdapat pada Tabel 2.4. sebelumnya.

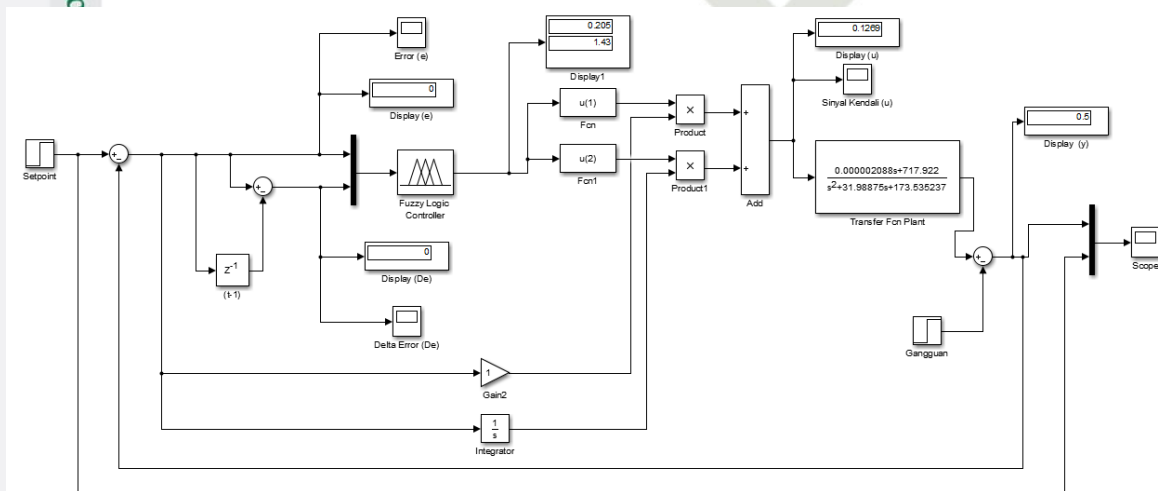


Gambar 3. 13 Rangkaian *Simulink* Sistem Pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy*

Gambar 3. 13 di atas merupakan rancangan pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy* pada sistem *Rewinder Roll* dengan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  dicari menggunakan metode *PI-Tuning* yang disesuaikan dengan hasil respon *plant*. Setelah mendapatkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang sesuai dengan respon *plant*, untuk menentukan respon *transien* dari sistem ketika nilainya tidak terdapat pada *workspace* setelah dicari menggunakan rumus, maka digunakan metode interpolasi linear seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.20.

### 3.6.3. Perancangan Pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy* dengan Perubahan *Set Point*

Pada penelitian ini, peneliti menguji pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy* dengan perubahan *set poin* senilai 1N dan 1.5N guna melihat kemampuan pengendali dalam mengikuti *set point* yang diujikan.



Gambar 3. 14 Rangkaian *Simulink* Sistem Pengendali Auto Tuning Menggunakan Fuzzy dengan Gangguan Sinyal Kendali

Pada rangkaian di atas diberi *set point* senilai 1N dan 1.5N. Perubahan *set point* ini bertujuan untuk menguji apakah pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy* mampu melakukan *tuning* secara otomatis ketika *input* atau *set point* berubah-ubah.

### 3.7. Data Penelitian Yang Akan Dianalisa

Pada tahap ini data-data yang akan dianalisa yaitu berupa grafik hasil dari masing-masing pengujian pada sistem yaitu:

1. Respon *transient* dari hasil simulasi Secara *Close Loop*
2. Respon *transient* dari hasil simulasi Pengendali *PI Tuning*
3. Respon *transient* dari hasil simulasi pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy*.
4. Respon *transient* dari hasil simulasi pengendali *Auto Tuning* Menggunakan *Fuzzy* dengan perubahan *setpoint* 1N dan 1.5N.

## BAB V

### PENUTUP

#### 1.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai parameter  $K_p$  sebesar 0.2046 dan parameter  $K_i$  sebesar 1.431 untuk mengendalikan *web tension* pada sistem *Rewinder Roll* menghasilkan respon sistem dimana dapat mengatasi *overshoot* dan *error steady state* yang dihasilkan dari simulasi secara *Close Loop*. Selanjutnya, respon *transien* yang dihasilkan pengendali *PI-Tuning* juga sedikit berbeda dengan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy*, dimana pada pengendali *PI-Tuning* menghasilkan *overshoot* 0.0002%, *error steady state* 0N, sedangkan pada pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* menghasilkan *overshoot* 0.0044% dan *error steady state* 0N. Dan dari hasil simulasi, pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* berhasil mengikuti perubahan *setpoint* yaitu 1N dan 1.5N.

#### 1.2. Saran

Pada penelitian ini dapat dilihat bahwa meskipun sistem sudah stabil namun respon sistem saat menggunakan pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* seperti nilai (*Rise Time, Settling Time, dan Delay Time*) masih cukup lama dibandingkan dengan respon sistem saat disimulasikan secara *PI Tuning*, sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat ditemukan metode-metode baru untuk mengatasi masalah tersebut.

UIN SUSKA RIAU



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Neto. Heronimus, “*Kertas dan Kehidupan Manusia*,” *Qureta*, 2018. <https://www.quireta.com/post/kertas-dan-kehidupan-manusia> (accessed May 21, 2021).
- [2] Rakyat. Pikiran, “*RI Produsen Kertas Nomor 6 Terbesar Dunia*,” *Kemenperin*, 2017. <https://www.kemenperin.go.id/artikel/16596/2017,-RI-Produsen-Kertas-Nomor-6-Terbesar-Dunia> (accessed May 21, 2021).
- [3] W. Noviati, “*Dilema Penggunaan Kertas di Era Modern*,” *Qureta*, 2018. <https://www.quireta.com/post/dilema-penggunaan-kertas-di-era-modern> (accessed May 21, 2021).
- [4] Pablo. Samuel, “*Meski Masuk Era Digital, Permintaan Kertas Dunia Tetap Tumbuh*,” *CNBC Indonesia*, 2018. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20180503135137-4-13493/meski-masuk-era-digital-permintaan-kertas-dunia-tetap-tumbuh> (accessed May 21, 2021).
- [5] Suparto, Yusanto. Deni Okta, “*Analisa Kualitas Produk Di Pt . Surabaya Meka Box Ltd Dengan Metode Six Sigma Dan FMEA*,” 2018.
- [6] Parlaungan, “*Quality Control untuk Produksi Kertas PT. X Paper Products Menggunakan Metode Six Sigma*,” UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2011.
- [7] Yudianto. dkk, “*Penerapan Metode Statistical Process Control Dalam Mengendalikan Kualitas Kertas Bobbin ( Studi Kasus : PT . Pusaka Prima Mandiri )*,” vol. 14, p. 6, 2018.
- [8] Company. IMC, *How to Size and Select Load Cells for Web Process Productivity*. Cleveland: Cleveland Motion Controls (CMC), 2002.
- [9] Izzah. Nailul, “*Mendalami Proses Produksi Pulp dan Kertas*,” *Warung Sains dan Teknologi (Warstek)*, 2018. .
- [10] Hwang. Hyeongjin. dkk, “*Kalman-Filter-Based Tension Control Design for Industrial Roll-to-Roll System*,” *Algorithms*, vol. 12, no. 4, 2019, doi: 10.3390/A12040086.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- [11] K. Andrew and W. Wilson, "Adaptive Force Control of in Web Handling Systems," *Intell. Control Autom.*, vol. 03, no. 04, pp. 329–336, 2012, doi: 10.4236/ica.2012.34038.
- [12] Jamil. Syukron. dkk, "Desain Pengendalian Web Tension Pada Roll Winder Menggunakan Kendali Optimal LQR," *Fak. Sains dan Teknol. Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*, no. 155, pp. 534–541, 2018.
- [13] Biyanto. Totok R, "Sistem Pengendalian Web Tension Menggunakan Kontroler Robust PID," *Jurnal Teknik Mesin*, 2005.
- [14] Kurniawan. Rizki Anggoro. dkk, "Perancangan Kontroler Self - Tuning PI dengan Logika Fuzzy Sebagai Kendali Motor Servo pada Sistem Tracking Bola," vol. 7, p. 7, 2018.
- [15] Rachmadi. Mochamad Adityo. dkk, "Sistem Kontrol Kecepatan Sepeda Listrik Menggunakan Metode Self-Tuning Parameter PI dengan Metode Logika Fuzzy," *J. EECCIS*, vol. 10, no. 1, pp. 26–32, 2016.
- [16] Muliadi. Dedi, "Karakteristik Respon Sistem," pp. 7–37, 2015.
- [17] Setiawan. Agung, *Logika Fuzzy dengan MATLAB (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto)*, vol. 1, no. March. Bali: Jayapangus Press, 2018.
- [18] Maerani. Restu, Bakhri. Syaiful, "Perbandingan Sistem Pengontrolan Pid Konvensional Dengan Pengontrolan Cmac, Fuzzy Logic Dan Ann Pada Water Level," *Sigma Epsil.*, vol. 17, no. 3, pp. 129–141, 2013.
- [19] Pardomuan. Andre. dkk, "Perancangan Kontroler Self Tuning Fuzzy PI Untuk Pengendalian Ketinggian Air Dan Temperatur Uap Pada Steam Drum Boiler," 2017.
- [20] Kerami. Djati, "Konsep Umum Model dan Model Matematis," pp. 1–41, 2003.
- [21] Yusuf. Awab, "Pengendalian Kualitas Produk Kertas Pada Paper dan Board Manufacturer PT . Surya Pamenang Kediri di Bagian Konverting," no. 00610155, p. 2, 2006.
- [22] Ogata. Katsuhiko, *Modern Control Engineering*, 5th ed., vol. 39, no. 12. New Jersey: Prentice Hall, 2010.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- [23] Ogata. Katsuhiko, "*Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*," p. 384, 1995.
- [24] Darjat. dkk, "*Aplikasi Kontrol Proportional Integrall Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 Untuk Pengaturan Suhu Pada Alat Pengering Kertas*," p. 314, 2008.
- [25] Wahid. Abdul, "*Improvement of Linear Distillation Column Control Performance Using Fuzzy Self-Tuning PI Controller*," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2255, no. September, pp. 0–7, 2020, doi: 10.1063/5.0014060.
- [26] Xiaoping. Si, Jidong. Wang, "*A Vector-control System Based on Fuzzy Selftuning PID controller for PMSM*," *2010 Int. Conf. E-Product E-Service E-Entertainment, ICEEE2010*, no. 5, pp. 5–8, 2010, doi: 10.1109/ICEEE.2010.5661316.
- [27] Khadari. Iqlimah. dkk, "*Simulasi Kontroler PID Tuning Menggunakan Logika Fuzzy dan Algoritma Genetika Sebagai Pengendali Kecepatan Motor DC*," *Ilm. Setrum*, vol. 8, no. 2, pp. 186–196, 2019.
- [28] Waluyo. dkk, "*Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban Menggunakan Metode Heuristik*," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 1, no. 2, p. 79, 2013, doi: 10.26760/elkomika.v1i2.79.
- [29] Thera. Dedi, "*Penerapan Metode Interpolasi Linear Dan Histogram Equalization Untuk Perbesaran Dan Perbaikan Citra*," vol. 08, no. 01, 2020.
- [30] Cahyono. Budi, "*Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier*," *Phenom. J. Pendidik. MIPA*, vol. 3, no. 1, p. 45, 2016, doi: 10.21580/phen.2013.3.1.174.



## LAMPIRAN

### Proses Penalaan Parameter PI dengan Pengendali *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy Menggunakan Metode Heuristik*

1. Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.24147$  dan  $K_i = 6286$



2. Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.4848$  dan  $K_i = 27606$



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.32649$  dan  $K_i = 2.1696$



4. Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.36864$  dan  $K_i = 2.2958$

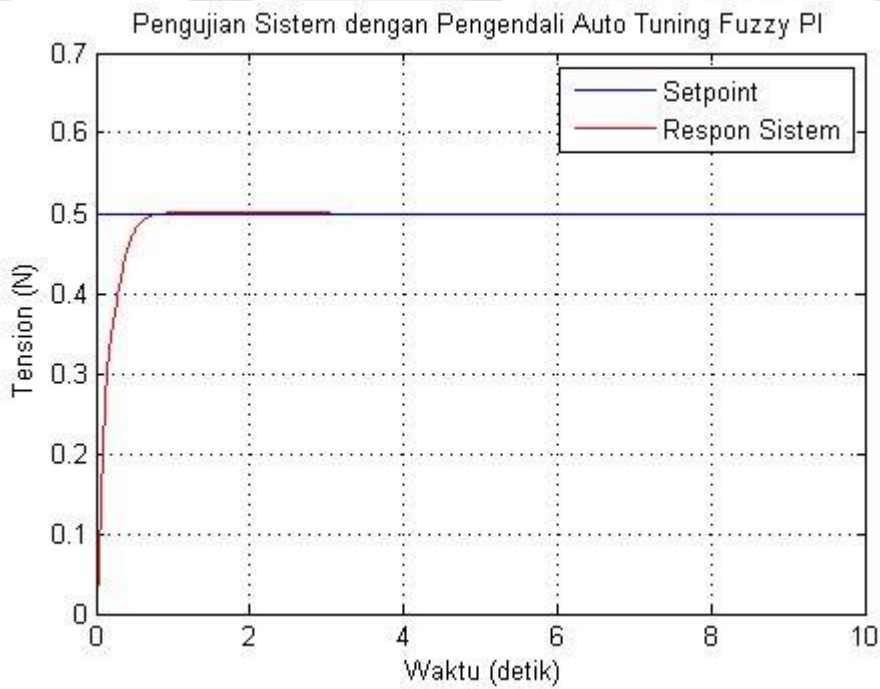


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.30156$  dan  $K_i = 0.9063$



6. Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.2046$  dan  $K_i = 1.431$



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.18451$  dan  $K_i = 2.4064$



8. Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.31567$  dan  $K_i = 2.0102$

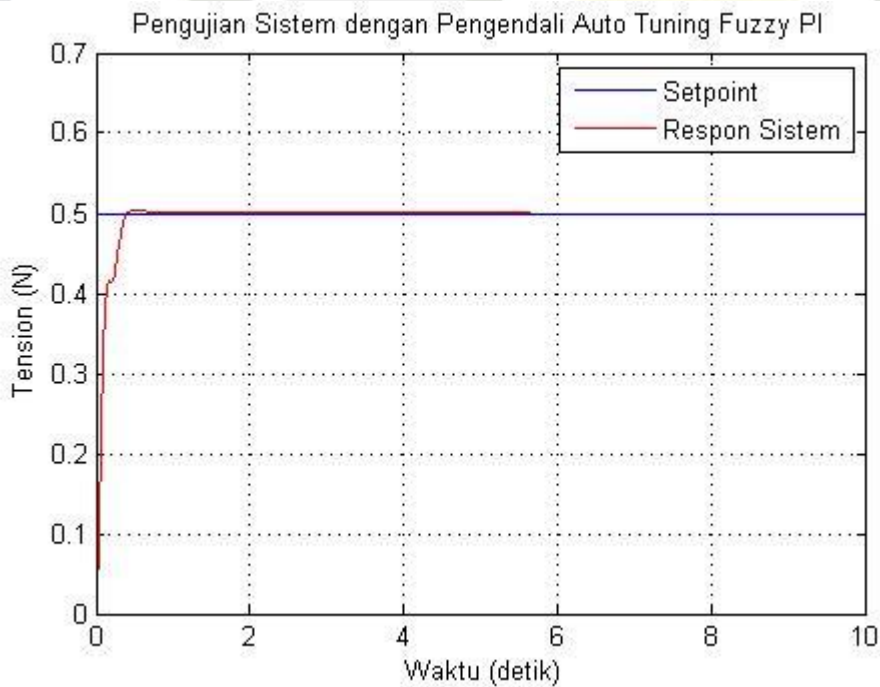


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.27552$  dan  $K_i = 0.9198$



10. Hasil Simulasi *Auto Tuning Menggunakan Fuzzy* dengan nilai  $K_p = 0.3644$  dan  $K_i = 2.3568$



### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Juliesty Huswina Nasution lahir pada tanggal 23 Juli 1999 merupakan anak kedua dari Horas Pardomuan Nasution dan Lilis Febwarini, S.Pd yang beralamat Jl. Merpati Sakti No.10, Kecamatan Tampan, Pekanbaru, Riau. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD N 13 Paninggahan lulus pada tahun 2011. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP N 1 Junjung Sirih lulus pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMA N 1 Gunung Talang lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan jenjang pendidikan di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dengan mengambil program studi Teknik Elektro konsentrasi Elektronika Instrumentasi dengan penelitian tugas akhir yang berjudul **“Desain Pengendali Auto Tuning Menggunakan Fuzzy Untuk Pengendalian Web Tension Pada Sistem Rewinder Roll”**.

No. HP : 082288516430

Email : 11755202091@students.uin-suska.ac.id

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.